

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G02B 3/14 (2006.01)  
G02B 15/177 (2006.01)



# [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200680030604.4

[43] 公开日 2008年9月17日

[11] 公开号 CN 101268388A

[22] 申请日 2006.8.9

[21] 申请号 200680030604.4

[30] 优先权

[32] 2005.8.22 [33] US [31] 11/208,577

[86] 国际申请 PCT/US2006/030964 2006.8.9

[87] 国际公布 WO2007/024482 英 2007.3.1

[85] 进入国家阶段日期 2008.2.22

[71] 申请人 伊斯曼柯达公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 W·T·小古塞 J·N·波德

D·W·桑福德

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司  
代理人 王岳 张志醒

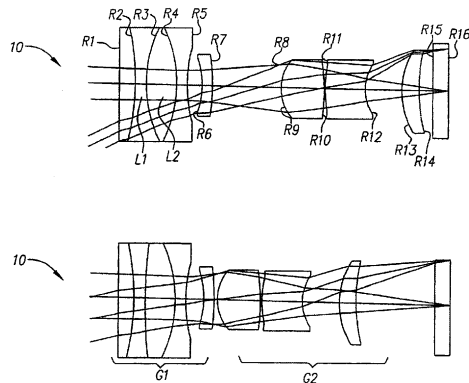
权利要求书 2 页 说明书 17 页 附图 20 页

## [54] 发明名称

具有可变倍率元件的变焦透镜系统

## [57] 摘要

提供一种多组可变焦距透镜。该透镜具有包括可变倍率透镜元件的第一透镜组，并且其以固定方式沿光轴放置。该透镜还具有沿光轴可移动放置的第二透镜组。该可变倍率光学元件可以是电控液体透镜，该电控液体透镜具有可变曲率半径的表面，该表面通过两种具有不同折射率的液体来产生，并且其中一种液体具有大于 1.60 的折射率。可选择地或附加地，在该液体透镜中使用的至少其中一种液体可以包含纳米级颗粒。



1、一种多组可变焦距透镜，包括：

第一透镜组，其包括可变倍率透镜元件，该第一透镜组以固定方式沿光轴放置；以及

第二透镜组，其沿光轴可移动地放置。

2、根据权利要求 1 所述的透镜，其中该可变倍率透镜元件包括具有可变曲率半径的表面，该表面位于两个附加表面之间。

3、根据权利要求 2 所述的透镜，其中该可变倍率透镜元件的两个附加表面中的至少一个具有光焦度。

4、根据权利要求 3 所述的透镜，其中该光焦度是球面的。

5、根据权利要求 3 所述的透镜，其中该光焦度是非球面的。

6、根据权利要求 1 所述的透镜，其中该第一透镜组包括至少一个附加光学元件。

7、根据权利要求 6 所述的透镜，其中该至少一个附加光学元件位于该可变倍率透镜元件的物侧。

8、根据权利要求 6 所述的透镜，其中该至少一个附加光学元件位于该可变倍率透镜元件的像侧。

9、根据权利要求 1 所述的透镜，其中该可变倍率光学元件包括电控液体透镜。

10、根据权利要求 9 所述的透镜，其中具有可变曲率半径的该表面通过两种具有不同折射率的液体来产生。

11、根据权利要求 10 所述的透镜，其中一种液体具有大于 1.60 的折射率。

12、根据权利要求 9 所述的透镜，其中一种液体具有 X 的折射率，另一种液体具有 0.85X-0.95X 的折射率。

13、根据权利要求 9 所述的透镜，其中一种液体具有 X 的折射率，另一种液体具有近似 0.90X 的折射率。

14、根据权利要求 1 所述的透镜，其中该第一透镜组和该第二透镜组从光轴的物侧被依序放置。

15、根据权利要求 1 所述的透镜，该第一组具有光焦度并且该第二透镜组具有光焦度，其中该第一透镜组的光焦度的绝对值小于该第二透镜组的光焦度的绝对值。

16、根据权利要求1所述的透镜，其中该可变倍率的光学元件包括压力控制液体透镜。

17、根据权利要求1所述的透镜，其中该可变倍率光学元件包括液晶透镜。

18、根据权利要求1所述的透镜，进一步包括至少一个附加透镜组。

19、根据权利要求18所述的透镜，其中该至少一个附加透镜组是移动透镜组。

20、一种多组可变焦距透镜，包括：

透镜组，其沿光轴位于固定位置，该透镜组包括具有可变倍率透镜元件的电控液体透镜，该可变倍率透镜元件包括具有可变曲率半径的表面，该表面通过两种具有不同折射率的液体来产生，其中一种液体具有大于1.60的折射率。

21、一种液体透镜，包括：

第一表面；

和第二表面；以及

位于该第一表面和该第二表面之间的第一液体和第二液体，使得该第一液体和该第二液体之间的界面形成具有可变曲率半径的表面，其中该第一液体和该第二液体中的至少一种包括纳米级颗粒。

22、根据权利要求21所述的液体透镜，其中该纳米级颗粒具有比包含该纳米级颗粒的液体的密度更高的密度。

23、根据权利要求21所述的液体透镜，其中该纳米级颗粒具有比包含该纳米级颗粒的液体的折射率更高的折射率。

24、根据权利要求21所述的液体透镜，其中该第一液体和该第二液体中的至少一种包含混盐。

25、根据权利要求24所述的液体透镜，其中该混盐具有比包含该混盐的液体的密度更高的密度。

26、根据权利要求24所述的液体透镜，其中该混盐具有比包含该混盐的液体的折射率更高的折射率。

27、根据权利要求21所述的液体透镜，其中该第一表面和该第二表面中的至少一个具有光焦度。

28、根据权利要求27所述的液体透镜，其中该光焦度是球面的。

29、根据权利要求27所述的液体透镜，其中该光焦度是非球面的。

## 具有可变倍率元件的变焦透镜系统

### 技术领域

本发明一般而言涉及透镜设计，特别涉及具有至少一个可变倍率（power）元件的可变焦距透镜系统。

### 背景技术

常规的可变焦距透镜系统（例如变焦透镜系统）通常包括至少一个透镜组，沿光轴移动所述透镜组以便改变系统的焦距，从而导致物体在系统的像平面上的可变放大率。变焦透镜系统可以包括多个移动组或者固定透镜组和移动透镜组的组合。这些类型的透镜系统具有各种设计形式，其中每种设计形式在尺寸、性能、成本、机械复杂性等方面具有其自己的一组强度。常规的可变焦距透镜系统以机械的方式移动透镜组以便获得可变焦距。这种移动增加了透镜系统的成本、复杂性和尺寸。例如在消费照相机应用中，期望具有一种紧凑且廉价的变焦透镜系统。

可变倍率的透镜元件是已知的。例如，美国专利 No. 6,369,954 B1 和 PCT 申请公布 No. WO 2003/069380 公开了电控液体透镜。这些透镜中的每一个都由在具有透明外表面的空腔中所包含的具有不同折射率的两种不混溶液体组成。电极位于空腔的内侧。当对电极施加电压时，响应于在电极之间建立的电场，这两种液体之间的界面的曲率改变，从而导致液体透镜的光焦度（optical power）改变。电控液体透镜的响应时间大约是 0.02 至 0.1 秒，并且尺寸通常为 2 至 10mm。这些液体透镜的光学表面的形状可通过修改电极进行微调，从而允许像散存在于该光学系统中。

美国专利 No. 6,369,954 B1 公开了使用凹的或凸的腔表面来获得该器件的特定屈光度值，其中该器件处于静止状态，并且第一和第二液体是不混溶的、具有不同光学指数、以及具有基本上相同的密度，其中第一液体是导电的，而第二液体是绝缘的。另外，可以通过添加离子组分来使导电液体导电。PCT 申请公布 No. WO 2003/069380 公开了使用折射率在 1.25 与 1.60 之间并且具有增大其中一种液体的密度的附加的分子成分的液体，以便使得这两种液体的密度能够匹配，从而避免重力效

应。另外，透明外表面具有非球面形状以便提供期望的初始聚焦特性并且充当视场致平器。

美国专利申请公布 No. US 2004/0179280 和 No. US 2005/0018127 公开了液晶透镜。在这类透镜中，液晶材料被保持在一系列电极之间。对电极施加电压导致液晶与电场对齐，从而改变液晶透镜的光焦度。液晶透镜的响应时间可以小到 0.003 秒，并且尺寸范围类似于电控液体透镜。与液体透镜一样，电场决定液晶透镜的总体光学性能。因此，液晶透镜可通过电极修改来进行微调，并且像散存在于该透镜系统中。

美国专利 No. 5,574,598 公开了压力控制液体透镜。该透镜包括具有由弹性材料制成的透明表面的充液腔。当对邻近腔施加压力时，充液腔的弹性材料表面可以被拉伸成弯曲的形状。当这种情况发生时，液体透镜就具有了光焦度。通过改变对该邻近腔所施加的压力，可以将透镜的光焦度控制在透明弹性材料的弹性限度内。在压力控制液体透镜中，光学表面趋向于球形的形状，因为所述表面是由表面张力确定的。因此，在该透镜组件中也存在像散。

在 H. Oku, K. Hashimoto, M. Ishikawa 的论文 “Variable-focus lens with 1-kHz bandwidth”, Optics Express, Vol. 12, No. 10, May, 2004, pages 2138-2149 中描述了一种压力控制液体透镜。该透镜也包括具有由弹性材料制成的透明表面的充液腔。使用压电致动器对该透明表面施加压力，以便改变这些表面的形状。通过改变对压电致动器所施加的电压来改变对透镜所施加的压力的量。这种透镜系统的响应速度大约为 0.001 秒。在该压力控制液体透镜中也存在像散。

虽然上述透镜中的任何一个都可以用在可变焦距透镜系统中，但是电控液体透镜和液晶透镜的响应时间（低于 0.1 秒）和尺寸（通常为 2 至 10mm）特性使得这些透镜特别适合用于消费照相机的变焦透镜。还可以使用压力控制透镜，只要透镜的尺寸与所设想的应用相适应。

包括电控可变倍率透镜的变焦透镜是已知的。例如，PCT 申请公布 No. WO 2004/038480 公开了一种变焦透镜，其包括从物侧到像侧的前固定透镜组、可控透镜组和后固定透镜组。该可控透镜组包括电压控制的电浸湿器件，该器件包含具有处在 1.25 至 1.60 的范围内的不同折射率的第一液体和第二液体，并且具有至少两个第一液体 - 第二液体的界面。通过对该器件的电极提供电压，可以独立地改变这些界面的曲率以

及因此改变透镜的倍率，从而不需要透镜元件的机械运动。

PCT 申请公布 No. WO 2004/083899 公开了一种用于改变成像装置的角度放大率的光学部件。该光学部件包括一个室，该室在一侧上具有第一基底以及在相对侧上具有第二基底，以便沿着光轴分开地布置第一液滴和第二液滴。该室还填充有不同于第一和第二液滴的液体。该光学部件还具有邻近第一侧的第一电极、邻近第二侧的第二电极、以及第一和第二电极层之间的第三电极层，以便用于对第一和第二液滴施加不同的电场以便改变第一和第二液滴的焦距，而不改变焦距的总和。

上述变焦透镜均具有局限性。当对可变倍率透镜施加电压时，在这些透镜系统中所述的每一个可变倍率透镜提供多个可变光学表面，所述多个可变光学表面往往会在每个透镜系统中导致像散部件。为了提高这些变焦透镜的图像质量，应该校正或至少减少通过使用可变倍率透镜所产生的像散。虽然还期望减少变焦透镜中移动组的数目以便减小总尺寸和透镜的复杂性，但是除去全部移动组增大了透镜系统中的像散并且牺牲了成像质量。另外，并且至少在上述的液体透镜系统的情况下，对于液体的各种竞争性要求，例如密度、折射率、凝固点、沸点、导电性等，使得非常难以优化对适当液体的选择。

因此，需要这样的可变焦距透镜系统，其具有数量减少的移动透镜组以及由像差引起的更少的不利影响，例如像散、横向色差 (lateral color) 等。还需要对用在液体透镜中的液体的至少一种特性进行独立调节。这些特性包括例如密度、折射率、凝固点、沸点、导电性等。

## 发明内容

根据本发明的一个方面，提供一种多组可变焦距透镜。该透镜具有包括可变倍率透镜元件的第一透镜组，并且其沿光轴以固定方式放置。该透镜还具有沿光轴可移动放置的第二透镜组。

根据本发明的另一方面，提供一种多组可变焦距透镜。该透镜具有沿光轴位于固定位置的透镜组。该透镜组包括具有可变倍率透镜元件的电控液体透镜。该可变倍率透镜元件包括具有可变曲率半径的表面，该表面由具有不同折射率的两种液体产生，其中一种液体的折射率大于 1.60。

根据本发明的另一方面，提供一种液体透镜。该液体透镜包括第一

表面和第二表面。第一液体和第二液体位于第一表面和第二表面之间，使得第一液体和第二液体之间的界面形成具有可变曲率半径的表面。第一液体和第二液体中的至少一种包含纳米级颗粒。可以向液体透镜的一种或多种液体添加盐和/或可混溶液体和/或纳米颗粒，以便调节密度和/或液体的折射率和/或液体的凝固点和/或液体的沸点。

#### 附图说明

在以下给出的本发明优选实施例的详细描述中对附图进行参考，其中：

图 1A、1B 和 1C 分别是根据本发明做出的第一示例实施例在广角、中距和远摄变焦位置的截面图；

图 2A、2B 和 2C 分别是在图 1A、1B 和 1C 中所示的示例实施例聚焦在无限远处的像差图；

图 3A、3B 和 3C 分别是图 1A、1B 和 1C 所示的示例实施例在 20 周/mm 下离焦（through focus）MTF 的曲线，其在无限远处与位于曲线顶部的轴数据和位于曲线底部的全场（full field）数据共轭；

图 4A、4B 和 4C 分别是对于图 1A、1B 和 1C 所示的示例实施例而言在 60 周/mm 下离焦 MTF 的曲线，其在无限远处与位于曲线顶部的轴数据和位于曲线底部的全场数据共轭；

图 5A、5B 和 5C 分别是根据本发明做出的第一示例实施例在广角、中距和远摄变焦位置的截面图；

图 6A、6B 和 6C 分别是在图 5A、5B 和 5C 中所示的示例实施例聚焦在无限远处的像差图；

图 7A、7B 和 7C 分别是图 5A、5B 和 5C 所示的示例实施例在 20 周/mm 下离焦 MTF 的曲线，其在无限远处与位于曲线顶部的轴数据和位于曲线底部的全场数据共轭；以及

图 8A、8B 和 8C 分别是图 5A、5B 和 5C 所示的示例实施例在 60 周/mm 下离焦 MTF 的曲线，其在无限远处与位于曲线顶部的轴数据和位于曲线底部的全场数据共轭。

#### 具体实施方式

本描述将特别针对形成根据本发明的设备的一部分或者与根据本

发明的设备更直接地协作的各元件。应当理解，未专门示出或描述的元件可以采用本领域技术人员公知的各种形式。

总体上参考图 1A-8C，本发明结合了可变焦距透镜系统 10、20 中的至少一种可变光焦度透镜元件。当与没有结合至少一个可变光焦度透镜元件的透镜系统相比时，这导致可变焦距透镜系统的至少一个移动组的减少，并且减少了可变焦距透镜系统 10、20 的总长度。此外，还可以减小系统的大多数物侧透镜元件的直径，这取决于所设想的特定应用。

当光束倾斜入射在折射表面上时，像散是明显的并且随着表面的曲率而变化。虽然这可通过“弯曲”可变倍率透镜元件中的不可变表面来校正，但是该校正只对可变表面的一个曲率而言是理想的。当调节可变曲率以便允许变焦时，在变焦透镜中别的地方需要补偿运动或曲率改变来消除像散变化并在新的变焦位置处恢复图像质量。

根据本发明做出的多组可变焦距透镜包括第一透镜组和第二透镜组。第一透镜组包括可变倍率透镜元件并沿光轴以固定方式放置。第二透镜组沿光轴可移动地放置。可变倍率透镜元件可以是任何合适的类型，例如上面已被更详细描述的下类型中的任何一个：电控液体透镜、液晶透镜、或压力控制液体透镜。

第一透镜组可以位于光轴的物侧，而第二透镜组位于光轴的像侧，这取决于多组可变焦距透镜的应用。第一透镜组的光焦度的绝对值可以小于第二透镜组的光焦度的绝对值。这也是与应用相关的。

在本发明的其他实施例可包括至少一个附加透镜组，这取决于多组可变焦距透镜的应用。该附加透镜组可以是固定的、移动的或二者的组合。

虽然本发明应用于期望减少移动透镜组的数量和/或更好的像差控制的变焦透镜系统中，但是这里将参考(-+)逆远摄变焦透镜系统来描述本发明。该变焦透镜的设计形式是受欢迎的，因为它具有相对直接的设计概念，具有长的后焦点（当包括辅助滤波器、盖板等等时其是有帮助的），并且常常足够接近远心从而在数字成像系统中是有用的。在该设计中，两个移动透镜组同时移动来完成变焦动作。变焦透镜组件的总长度由在变焦动作期间所述移动透镜组移动的距离来确定。减小在变焦动作期间所述移动透镜组的移动距离减小了变焦透镜系统的总长度。这



样做也可以导致一个或多个透镜组的透镜直径的减小。

参考图 1A-1C 和 5A-5C, 示出本发明的第一和第二示例实施例。在第一示例实施例中, 示出 (-+) 型紧凑变焦透镜设计。负倍率的第一透镜组是包括至少一个可变倍率元件的固定的透镜组。还可包括其它透镜元件以便在第一透镜组中提供附加的像差校正。

本发明的第二实施例展示了在包围可变倍率表面的介质中折射率和色散改变的影响。当被修改以便适合特定应用的需要时, 例如关于折射率和/或色散特性对介质的适当选择产生了具有改进的性能和/或横向色差特性的透镜系统。

在这两个示例实施例中, 包围第一透镜组的可变倍率表面的表面或面板可以具有光焦度, 以便平衡由于在变焦期间可变倍率表面改变而出现的像散和其它场像差。该光焦度包围表面和移动的正倍率第二透镜组补偿在整个变焦范围内由可变倍率透镜产生的像散。另外, 对于所述面板使用球面, 因为实现了改进的像差校正的控制。然而, 在一个或多个面板上使用非球面有助于获得更大的变焦范围、更大的视场或更快的 F/# 系统。

当与可比的传统 (-+) 两个移动组的变焦透镜系统 (例如具有类似的第一级光学特性和可比的光学性能的透镜系统) 相比时, 在第一和第二示例实施例中描述的变焦透镜系统 10、20 的总长度得到减少。具有用在第一或第二示例实施例中的第一级光学特性以及具有等同光学性能的典型的 (-+) 两个移动组的变焦透镜在其最长位置上的长度要长大约 20-25%。此外, 根据所设想的特定应用, 本发明的透镜系统的前顶点到像平面的长度减少可以有助于减小第一透镜组中的一个或多个透镜的直径。

再次参考图 1A-1C 和 5A-5C, 分别示出当聚焦在无限远时处于广角、中间或中距以及远摄变焦位置上的本发明的第一和第二示例实施例。在这两个示例实施例中, 透镜系统 10、20 包括从物侧起沿光轴放置的固定的 (相对于像平面) 负倍率透镜组 G1。透镜组 G1 包括至少一个可变倍率表面 R3。随后是作为机械移动正倍率透镜组 G2 的一部分的孔径光阑 R8。透镜组 G2 沿光轴移动, 这有助于改变透镜系统 10、20 的焦距, 并且在变焦期间在固定的像平面保持透镜系统的焦点。由表面 R15 和 R16 所限定的可选平面-面板表示在透镜系统 10、20 中可以包括不具

有光焦度的元件，例如任何类型（例如低通）的滤波器、图像传感器（例如 ccd）盖板等等。

在每一个示例实施例中，可变倍率元件是与上面描述的类似的电控液体透镜。然而，透镜系统 10、20 可包括与上面描述的类似的压力控制液体透镜或液晶透镜。在第一和第二示例实施例中，面板或表面 R1、R2 和 R4、R5 包含具有不同特性（例如折射率、阿贝数（ $v$ ）等）的液体 L1、L2，它们在彼此之间产生可变边界，即表面 R3。

当表面 R3 的曲率半径在变焦期间发生改变时，表面 R3 所产生的像差随着它的曲率而变化。例如可能存在像散和/或场曲率。通过提供一个或多个具有曲率半径的这些表面来提供具有光焦度（从透镜系统 10、20 的物侧观看时或者为正或者为负）的表面 R1、R2 和 R4、R5，有助于平衡当透镜系统 10、20 在广角和远摄变焦位置之间移动时所产生的像差。由透镜组 G2 提供的附加补偿也有助于在整个变焦范围平衡透镜系统 10。

参考图 1A、1B 和 1C，当从透镜系统 10 的物侧观看时，透镜组 G1 具有可变倍率透镜元件，该可变倍率元件包括双凸面板 R1、R2 和双凹面板 R4、R5。位于面板 R1、R2 和 R4、R5 之间的液体 L1、L2 产生可变边界，即表面 R3。液体 L1 具有 1.33 的折射率和 57.1 的阿贝数（ $v$ ）。液体 L2 具有 1.52 的折射率和 35.0 的阿贝数。

透镜组 G1 还包括弯月形透镜元件，表面 R6、R7 朝着透镜系统的像侧凸起。在透镜组 G1 中对附加透镜的包含是与应用相关的，因此可以包括多于一个的附加透镜元件。例如，在可变倍率透镜元件的物侧上可包括一个负倍率透镜元件，其可以有助于减小在透镜组 G1 中所包含的一个或多个透镜的直径。可选择地，在透镜组 G1 中不需要包括附加的透镜元件。

当从透镜系统 10 的物侧观看时，在双凸透镜 R9、R10 之后的透镜组 G2 包括孔径光阑 R8。在透镜组 G2 中还包括两个弯月形透镜元件 R11、R12 和 R13、R14。在透镜组 G2 中的透镜选择是与应用相关的，因此在透镜组 G2 中根据所期望的透镜系统 10 的性能可以包括任何数量的透镜元件。

在图 2A、2B 和 2C 中分别示出图 1A、1B 和 1C 所示的示例实施例聚焦在无限远处的像差图。正如可从这些图中确定的，像差（例如像散）

在变焦范围内被可接受地控制，即使当透镜系统 10 的焦距发生变化时，表面 R3 的曲率半径也在 37.8-93.9mm 之间变化。

在图 3A、3B 和 3C 中分别示出图 1A、1B 和 1C 所示的示例实施例在 20 周/mm 下离焦 MTF 的曲线，其在无限远处与位于曲线顶部的轴数据和位于曲线底部的全场数据共轭。在图 4A、4B 和 4C 中分别示出图 1A、1B 和 1C 所示的示例实施例在 60 周/mm 下离焦 MTF 的曲线，其在无限远处与位于曲线顶部的轴数据和位于曲线底部的全场数据共轭。再次，正如可从这些曲线中确定的，在透镜系统的整个变焦范围内对像差进行可接受的控制，其中与类似的常规变焦透镜系统相比，移动组的数目得到减少。

表 1 提供图 1A、1B 和 1C 所示的第一示例实施例的示例方案。

表 1

F= 5.75~8.15~11.58 FNO=2.8~3.35~4.0 w= 27.7~19.8~13.8			
R1 = 235.20	D1 = 1.02	N1 = 1.78472	V1 = 25.7
R2 = -16.63	D2 = 0.64	N2 = 1.33304	V2 = 57.1
R3 = 可变	D3 = 1.76	N3 = 1.52000	V3 = 35.0
R4 = -9.33	D4 = 0.60	N4 = 1.88300	V4 = 40.8
R5 = 13.73	D5 = 0.86		
R6 = -5.80	D6 = 0.60	N6 = 1.84666	V6 = 23.8
R7 = -9.89	D7 = 可变		
R8 = 0.00	D8 = 0.10		
R9 = 2.97	D9 = 2.60	N9 = 1.51633	V9 = 64.1
R10 = -14.10	D10 = 0.10		
R11 = 6.19	D11 = 2.50	N11 = 1.84666	V11 = 23.8
R12 = 2.72	D12 = 2.31		
R13 = 5.68	D13 = 0.98	N13 = 1.70154	V13 = 41.2
R14 = 12.46	D14 = 可变		
R15 = 0.00	D15 = 0.85	N15 = 1.51680	V15 = 64.2
R16 = 0.00	D16 = 0.00		
焦距	R3	D7	D14
5.75	10.29	4.23	0.86
8.15	-93.94	1.97	3.12
11.58	37.18	0.30	4.79

非球面等式:

$$X = \frac{CY^2}{1 + \sqrt{1 - (k+1)C^2Y^2}} + A4Y^4 + A6Y^6 + A8Y^8 + A10Y^{10} + A12Y^{12} + A14Y^{14}$$

表面7的非球面数据:

A4=-.189533E-03 A6=0.227901E-03 A8=-.167431E-03 A10=0.612888E-04  
A12=-.114247E-04 A14=0.829094E-06

表面11的非球面数据:

A4=-.904992E-02 A6=-.648737E-03 A8=-.575906E-03 A10=0.258500E-03  
A12=-.795055E-04 A14=0.755727E-05

表面12的非球面数据:

A4=-.967461E-02 A6=-.201302E-02 A8=0.560703E-03 A10=-.243058E-03  
A12=.567225E-04 A14=-.204143E-05

参考图 5A、5B 和 5C, 当从透镜系统 20 的物侧观看时, 透镜组 G1 具有一个可变倍率透镜元件, 该可变倍率元件包括双凸面板 R1、R2 以及朝着物侧凸起的弯月形面板 R4、R5。位于面板 R1、R2 和 R4、R5 之间的液体 L1、L2 产生可变边界, 即表面 R3。液体 L1 具有 1.48 的折射率和 58.7 的阿贝数 ( $\nu$ )。液体 L2 具有 1.64 的折射率和 40.8 的阿贝数。

在第二示例实施例中, 在可变倍率透镜元件中使用的液体与第一示例实施例中使用的液体不同。在第二示例实施例中, 通过使用具有更高折射率的液体, 透镜的性能比起第一示例实施例被进一步改进。另外, 通过在第二示例实施例的透镜中使用增大的折射率, 降低了透镜的曲率, 这有助于减少像散, 同时改进透镜的可制造性。

当设计根据本发明做出的变焦透镜时, 选择液体折射率的自由提供附加的优点。如上所述, 可以通过使面板形成一定形状而不是使用平行平板来控制固有像散。折射率范围的可用性允许透镜设计者确定几种可接受的面板形状因数, 因此可以自由地选择最有利于制造的选项。另外, 所公开的示例实施例展示出, 对于至少其中一种液体使用更高的折射率 ( $N > 1.6$ ) 可以产生期望的效果。例如, 显著地减少了在第二示例实施例的中间变焦位置上的主横向色差, 这在某种程度上产生更高的切向 MTF 性能和更少的彩色边纹。此外, 第二示例实施例中的后面板的形状可被允许从重的双凹透镜形状 (如第一示例实施例所示) 变为相对简单的弯月形透镜形状 (如第二示例实施例所示)。

透镜组 G1 还包括弯月形透镜元件, 表面 R6、R7 朝着透镜系统的像侧凸起。在透镜组 G1 中对附加透镜的包含是与应用相关的, 因此可以包括多于一个的附加透镜元件。例如, 在可变倍率透镜元件的物侧上可包括一个负倍率透镜元件, 其可以有助于减小在透镜组 G1 中所包含

的一个或多个透镜的直径。可选择地，在透镜组 G1 中不需要包括附加的透镜元件。

当从透镜系统 20 的物侧观看时，在双凸透镜 R9、R10 之后的透镜组 G2 包括孔径光阑 R8。在透镜组 G2 中还包括两个弯月形透镜元件 R11、R12 和 R13、R14。在透镜组 G2 中的透镜选择是与应用相关的，因此在透镜组 G2 中根据所期望的透镜系统 20 的性能可以包括任何数量的透镜元件。

在图 6A、6B 和 6C 中分别示出图 5A、5B 和 5C 所示的示例实施例聚焦在无限远处的像差图。正如可从这些图中确定的，像差（例如像散）在变焦范围内被可接受地控制，即使当透镜系统 20 的焦距发生变化时，表面 R3 的曲率半径也在负和正毫米半径之间发生形状上的变化。

在图 7A、7B 和 7C 中分别示出图 5A、5B 和 5C 所示的示例实施例在 20 周/mm 下离焦 MTF 的曲线，其在无限远处与位于曲线顶部的轴数据和位于曲线底部的全场数据共轭。在图 8A、8B 和 8C 中分别示出图 5A、5B 和 5C 中所示的示例实施例在 60 周/mm 下离焦 MTF 的曲线，其在无限远处与位于曲线顶部的轴数据和位于曲线底部的全场数据共轭。再次，正如可从这些曲线中确定的，在透镜系统的整个变焦范围内对像差进行可接受的控制，其中与类似的常规变焦透镜系统相比，移动组的数目得到减少。

表 2 提供图 5A、5B 和 5C 所示的第二实施例的示例方案。

表 2

F= 5.73~8.15~11.58 FNO=2.8~3.35~4.0 w= 27.7~19.8~13.9			
R1 = 235.20	D1 = 1.15	N1 = 1.78472	V1 = 25.7
R2 = -13.84	D2 = 0.60	N2 = 1.47856	V2 = 58.7
R3 = 可变	D3 = 1.41	N3 = 1.64247	V3 = 56.3
R4 = 12.22	D4 = 0.60	N4 = 1.88300	V4 = 40.8
R5 = 10.24	D5 = 1.05		
R6 = -5.67	D6 = 0.60	N6 = 1.84666	V6 = 23.8
R7 = -11.81	D7 = 可变		
R8 = 0.00	D8 = 0.10		
R9 = 2.99	D9 = 2.60	N9 = 1.51633	V9 = 64.1
R10 = -15.79	D10 = 0.10		
R11 = 5.75	D11 = 2.17	N11 = 1.84666	V11 = 23.8
R12 = 2.78	D12 = 2.49		
R13 = 5.89	D13 = 0.97	N13 = 1.70154	V13 = 41.2
R14 = 12.74	D14 = 可变		
R15 = 0.00	D15 = 0.85	N15 = 1.51680	V15 = 64.2
R16 = 0.00	D16 = 0.00		
焦距	R3	D7	D14
5.74	6.92	4.73	0.59
8.15	-20.67	2.04	3.27
11.58	-63.57	0.30	5.02

非球面等式:

$$X = \frac{CY^2}{1 + \sqrt{1 - (k+1)C^2Y^2}} + A4Y^4 + A6Y^6 + A8Y^8 + A10Y^{10} + A12Y^{12} + A14Y^{14}$$

表面7的非球面数据:

$$A4 = -.108221E-03 \quad A6 = 0.170981E-04 \quad A8 = 0.625360E-05 \quad A10 = -.692886E-05 \\ A12 = 0.124822E-05 \quad A14 = -.704853E-07$$

表面11的非球面数据:

$$A4 = -.906079E-02 \quad A6 = -.944288E-03 \quad A8 = -.290328E-03 \quad A10 = 0.114480E-03 \\ A12 = -.424580E-04 \quad A14 = 0.405850E-05$$

表面12的非球面数据:

$$A4 = -.934826E-02 \quad A6 = -.199116E-02 \quad A8 = 0.576762E-03 \quad A10 = -.273293E-03 \\ A12 = 0.728011E-04 \quad A14 = -.517385E-05$$

在上述的示例实施例中，电控液体透镜包括具有下列特性的液体。两种液体是不混溶的，具有相等的或近似相等的密度，这些液体应当具

有不同的折射率，其中一种液体是导电的，一种液体是绝缘体。另外，在正常操作条件下，这些液体不应当凝固、沸腾或漏气。这些液体应当具有足够低的粘度，以便实现在液体之间的界面处曲率的快速变化，并且应当具有透明性和/或缺乏彩色特性。

虽然这些液体彼此之间应当具有不同的折射率，但是在上述示例实施例中可以发现，一种液体的折射率应当在另一种液体的折射率的85%至95%之间，更优选是另一种液体的大约90%。在第二示例实施例中，至少其中一种液体具有大于1.60的折射率。表3提供具有高折射率( $N > 1.6$ )的绝缘液体的列表，这些绝缘液体与水不混溶，并且具有在例如数字或胶片照相机或视频装置的典型操作范围( $-20^{\circ}\text{C}$ 至 $60^{\circ}\text{C}$ )之外的凝固点和沸点。表3所列的液体是代表性的。因此，应当理解还可使用其他液体。

表3

化合物	折射率	密度 (g/mL)	凝固点 ( $^{\circ}\text{C}$ )	沸点 ( $^{\circ}\text{C}$ )
异硫氰酸苯酯	1.649	1.13	-21	221
二苯硫	1.633	1.114	-25.9	296
2-碘噻吩	1.646	1.9	-40	180
3-碘甲苯	1.605	1.705	-27.2	213
碘苯	1.62	1.823	-29	188
1-氯萘	1.632	1.194	-20	112

给定在电控液体透镜中使用的液体的这些特性的许多要求，有利的是能够基本上独立于其它特性来调节这些特性中的一个或多个特性。例如，有利的是独立地调节密度和/或一种或两种液体的折射率，以便实现与另一液体的期望密度匹配，同时实现这两种液体之间的期望的差异。

上面描述的一些现有技术公开了添加盐或离子组分来增大导电性以及添加分子成分来增大液体的密度。例如，向水中添加盐增大了水的导电性、密度和折射率的至少一种并且抑制了水的凝固点，所以在正常的操作条件下该液体不会凝固。然而，盐对水的折射率、密度和凝固点的影响是相互关联的，因此可能难以相互独立地调节水的密度和折射率。类似地，分子成分的改变伴随有折射率、导电性和凝固点的改变。

表4示出向水中加盐以增大其密度、折射率和沸点并降低其凝固点的多个实例。

本发明教导了使用一种复合方法来获得用在参考第一和第二示例实施例所述的电控液体透镜中的每种液体的期望的特性集合。例如，还可使用两种或更多种盐的混合物来改变液体的密度和折射率。类似地，可混溶的液体（例如甲醇、丙醇等）也能被添加到溶液中以调节液体透镜中的液体的密度和凝固点而基本上不改变折射率。可溶化合物（例如蔗糖）也可用于改变溶液的密度和折射率而不改变导电性。

表4提供可用来改变水的密度、折射率和凝固点的导电性盐、可混溶液体和可溶化合物的列表。表4所列的盐是代表性的。因此，应当理解还可使用其它盐。

表4

溶液中的物质	%加载 (盐的重量/总重量)	密度 (g/mL)	折射率 ( $\lambda=589.3\text{nm}$ )	凝固点 ( $^{\circ}\text{C}$ )
水基线	0	1	1.33	0
氯化铵	10	1.03	1.352	-7
氢氧化铵	35	0.934	1.342	-28.1
氯化钙	10	1.085	1.358	-5.9
	32	1.306	1.418	-49.7
甲醇	30	0.953	1.341	-25.9
硫氰酸钾	10	1.05	1.352	-3.6
	64	1.388	1.475	-68.1*
氯化钠	23	1.174	1.374	-20.7
重铬酸钠	10	1.077	1.355	-1.9
	48	1.489	1.468	-19.7*



蔗糖	42	1.187	1.404	-4.9
溴化锌	79	2.5	1.565	-91.8*
硫酸锌	16	1.183	1.363	-2.3
*计算出的凝固点				

在本发明公开的另一方法中，可以向透镜中所使用的至少一种液体添加纳米颗粒来形成复合的液体分散体，其中该纳米颗粒具有比透镜中所使用的液体的密度更高的密度以及与透镜中所使用的液体的折射率相匹配的折射率，并且该液体分散体的密度可通过改变添加到液体中的高密度纳米颗粒的量来进行调节。例如，EP0911360公开了在塑料中使用折射率匹配的颗粒来制造注模光学器件，该器件具有高透明度以及相对于温度和湿度具有改进的稳定性。在根据本发明制造的一个或多个电控液体透镜中，可将折射率匹配的纳米颗粒加入到在透镜中所使用的一种或两种液体中以产生一种液体分散体，该液体分散体相比于液体自身的密度具有可调节的密度。可以调节液体分散体的密度以便在液体分散体和电控液体透镜中所使用的另一液体之间产生匹配的密度。通过使液体分散体和另一液体的密度相匹配，降低或甚至避免了液体透镜中由重力引起的不稳定性。

优选地，折射率匹配的纳米颗粒的颗粒尺寸小于 100 纳米，从而产生稳定的分散体，其中当使用低粘度液体时，随着时间的消逝仅有少量或没有纳米颗粒从分散体中沉淀出来。同样优选的是，折射率匹配的纳米颗粒具有的折射率在液体自身的 0.05 范围内，因此很少或没有光散射发生，从而使得液体分散体成为透明的。同样优选的是，折射率匹配的纳米颗粒具有至少 2.0g/cc 的密度，从而允许通过少量添加折射率匹配的纳米颗粒来快速调节液体分散体的密度。表 5 描述了具有高密度以及适合用作折射率匹配的纳米颗粒的折射率范围的材料列表。表 5 所列的材料是代表性的。因此，应当理解还可以使用其它材料。

表 5

材料	折射率	密度 g/cc
熔融石英	1.458	2.2
SiO <sub>2</sub>	1.548	2.18
CaCO <sub>3</sub>	1.572	2.71
GeO <sub>2</sub>	1.605	4.25
CeF <sub>3</sub>	1.63	6.2
MgO	1.736	3.55
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.77	3.9
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.79	5
ZnO	2.008	5.6
ZrO <sub>2</sub>	2.215	5.7
TiO <sub>2</sub>	2.763	4

在本发明公开的又一种方法中，可在透镜使用的至少一种液体中加入颗粒尺寸小于 40 纳米的纳米颗粒，以便调节所得到的透明液体分散体的密度或折射率。在这种方法中，纳米颗粒的尺寸降低或者甚至消除光散射（与上述方法中使用折射率匹配的纳米颗粒相比）。例如，WO 97/10527 公开了使用尺寸小于 40 纳米的纳米颗粒来增大塑料的光学折射率，同时避免光散射并保持透明度。在根据本发明制造的一个或多个电控液体透镜中，颗粒尺寸小于 40 纳米的纳米颗粒可被加入到透镜使用的其中一种液体中，例如低粘度液体，以便产生具有与液体自身的密度和/或折射率相比可调节的密度和/或折射率的液体分散体。可以调节液体分散体的密度和/或折射率，以便在液体分散体和电控液体透镜中使用的另一液体之间产生匹配的密度和/或期望的折射率差异。纳米颗粒的尺寸也有助于产生稳定的液体分散体，其中很少或没有纳米颗粒从分散体中沉淀出来。

在该方法中，材料的选择取决于透镜中使用的液体。例如，当调节液体分散体的密度时，发现表 5 中所列的这样的材料工作良好，所述材料具有比透镜中使用的液体更高的密度和与透镜中使用的液体的折射率近似的折射率。相反，发现表 5 中所列的这样的材料对于调节液体分散体的折射率而言工作良好，所述材料具有比透镜中使用的液体更高的折射率和与透镜中使用的液体的密度近似的密度。最后，可以使用具有比液体的密度高的密度和比液体的折射率高的折射率的材料来同时调

节密度和折射率。

表 6 描述了通过向液体添加纳米颗粒来进行密度调节的两个实例。在第一实例中，将从 Nissan Chemical America Corporation, Houston, TX 处商业获得的二氧化硅纳米颗粒加入到水中以便将所得到的分散体的密度从 1.0g/cc 增大到 1.102g/cc。在该实例中，二氧化硅纳米颗粒的颗粒尺寸是 10 纳米。如表 5 所示，二氧化硅的折射率是 1.548，这与如表 6 所示的水的折射率 1.33 进行比较。如表 6 所示，所得到的分散体是稳定和透明的，并具有大大增大的密度和适当增大的折射率。

在第二实例中，将从 Nissan Chemical America Corporation, Houston, TX 处商业获得的二氧化硅纳米颗粒加入到乙二醇中以便将所得到的分散体的密度从 1.096g/cc 增大到 1.225g/cc。二氧化硅纳米颗粒的颗粒尺寸是 10 纳米。在该实例中，如表 6 所示，乙二醇的折射率是 1.4326，如表 5 所示，当与水相比时，其更接近二氧化硅的折射率 1.548。所得到的分散体是稳定和透明的，并具有大大增大的密度。然而，在该实例中，如表 6 所示，实际上没有改变折射率。

表 6

物质	密度 (g/cc)	折射率 ( $\lambda=587\text{nm}$ )
具有15% Snowtex SiO <sub>2</sub> 的水	1.102	1.3444
水	1	1.33
在ECE9-ST 中的SiO <sub>2</sub>	1.225	1.4338
乙二醇	1.096	1.4326

下面描述选择和调节用在根据本发明制造的电控液体透镜中的液体的一种方法。第一，基于对液体透镜期望的折射率，选择一种高折射率绝缘液体，例如表 3 所列的其中一种。第二，选择导电液体（例如水）作为另一液体。第三，把盐（例如表 4 所列的其中一种）加入到导电液体中以按照期望增大导电性，和/或按照期望降低凝固点，和/或增大密度以产生具有密度更接近于所述高折射率绝缘液体的密度的导电液体

溶液。

在这一点上，可以使用上面描述的任一方法来调节透镜中使用的液体的密度和折射率。使用第一种方法，在高折射率绝缘液体或导电液体溶液中加入高密度纳米颗粒，例如表 5 中所列的其中一种，其优选具有小于 100 纳米的颗粒尺寸和与液体的折射率匹配的折射率，从而形成具有与电控液体中的另一液体匹配的密度的液体分散体。

使用第二种方法，在高折射率绝缘液体或导电液体溶液中加入纳米颗粒，例如表 5 所列的其中一种，其具有小于 40 纳米的颗粒尺寸，以便形成具有与另一液体的密度匹配的密度的液体分散体。可选择地，在高折射率绝缘液体或导电液体溶液中加入纳米颗粒，例如表 5 所列的其中一种，其具有小于 40 纳米的颗粒尺寸，以便形成液体分散体，从而调节液体分散体的折射率以便在液体分散体和透镜中使用的另一液体之间产生期望的折射率差异。

虽然使用液体产生可变边界表面已经做出了上述的可变倍率透镜元件，但是可以设想到，在可变倍率透镜元件中还可以使用其他类型的材料或液体，只要这些材料或液体能够产生可变边界表面（例如表面 R3）即可。

上述可变焦距透镜系统适用于其中应用了常规变焦透镜的任何应用。这些应用例如包括胶片照相机、数字照相机、视频照相机等，以及包括结合了这些照相机的运用（例如蜂窝电话照相机、与个人计算机相关联的照相机等）。例如，数字照相机变焦透镜的典型设计要求包括 3-20mm 的透镜直径和 0.1-2 秒的变焦响应速度。上述可变焦距透镜系统能够满足这些设计要求。

在任一示例实施例中，对于不处于无限远的物体，可使用可变表面 R3 来实现快速接近焦点。这是通过对可变表面 R3 的曲率半径进行小改变来完成的。在变焦期间，可以使得图像离开像平面。在变焦期间或变焦之后，对曲率半径进行小改变会把图像移回到像平面上，同时保持透镜系统的总焦距在可接受的容限范围内。这种小改变小于在变焦期间对可变表面 R3 的曲率半径所做的改变。在该过程期间，该透镜组 G1 沿光轴保持固定。

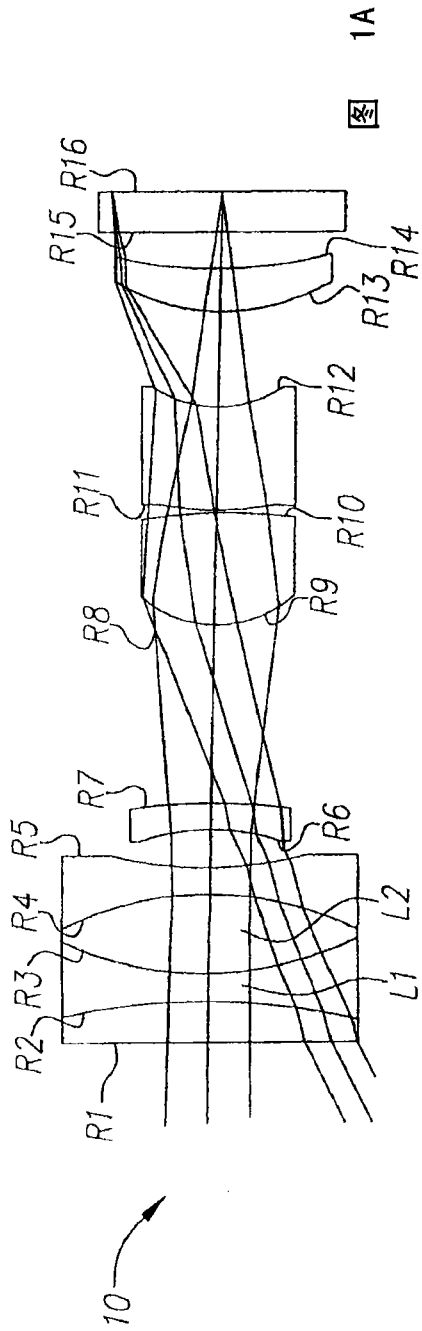


图 1A

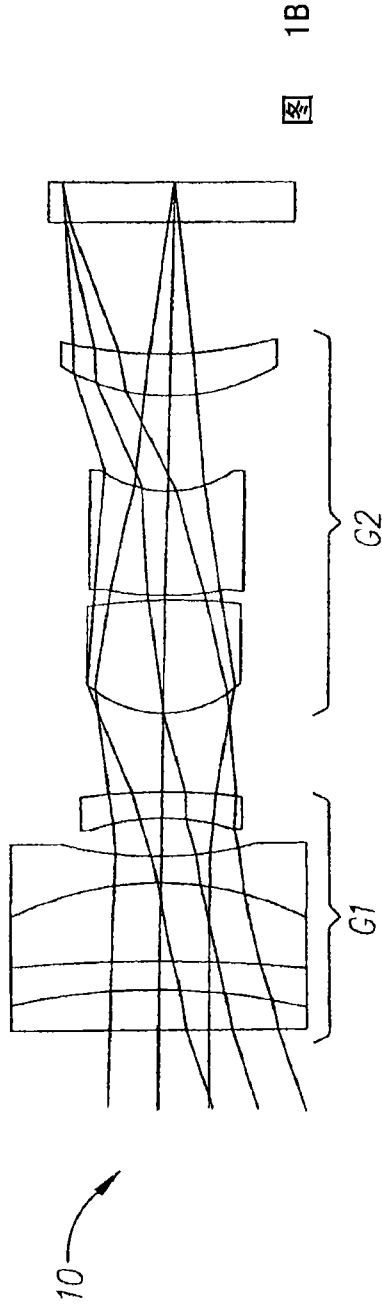


图 1B

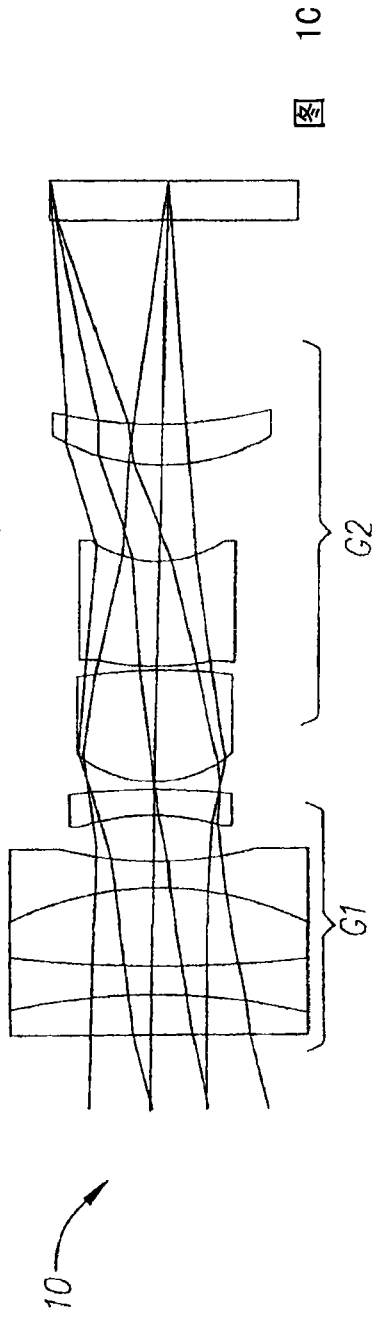


图 1C

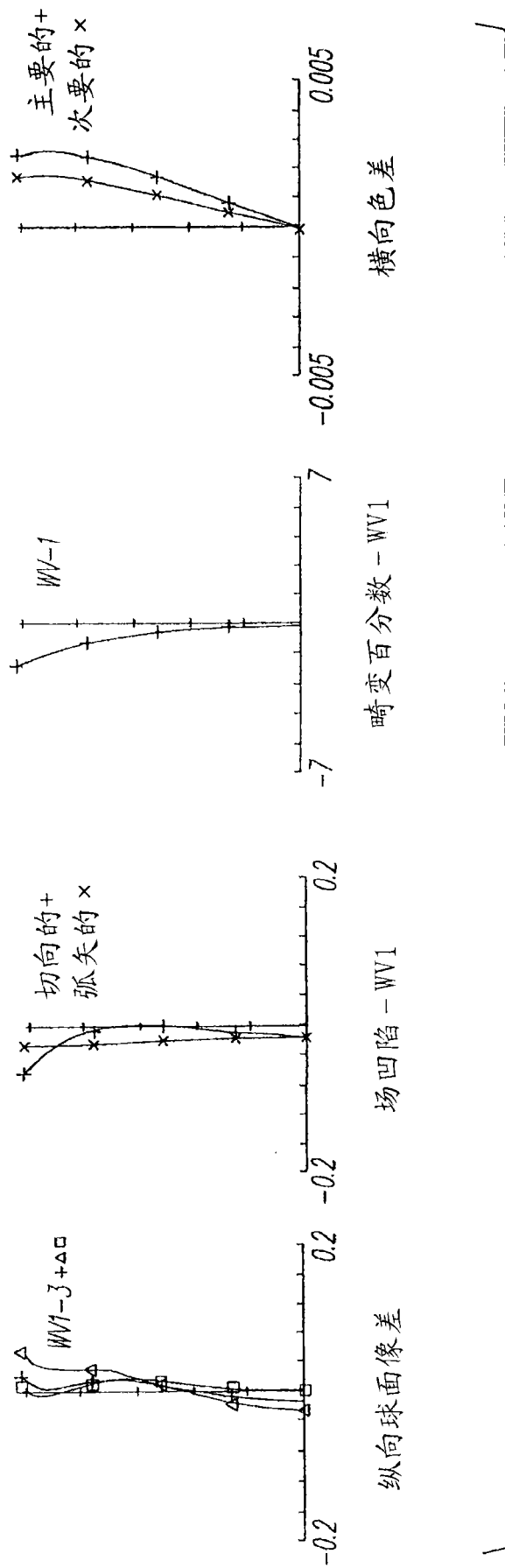


图 2A

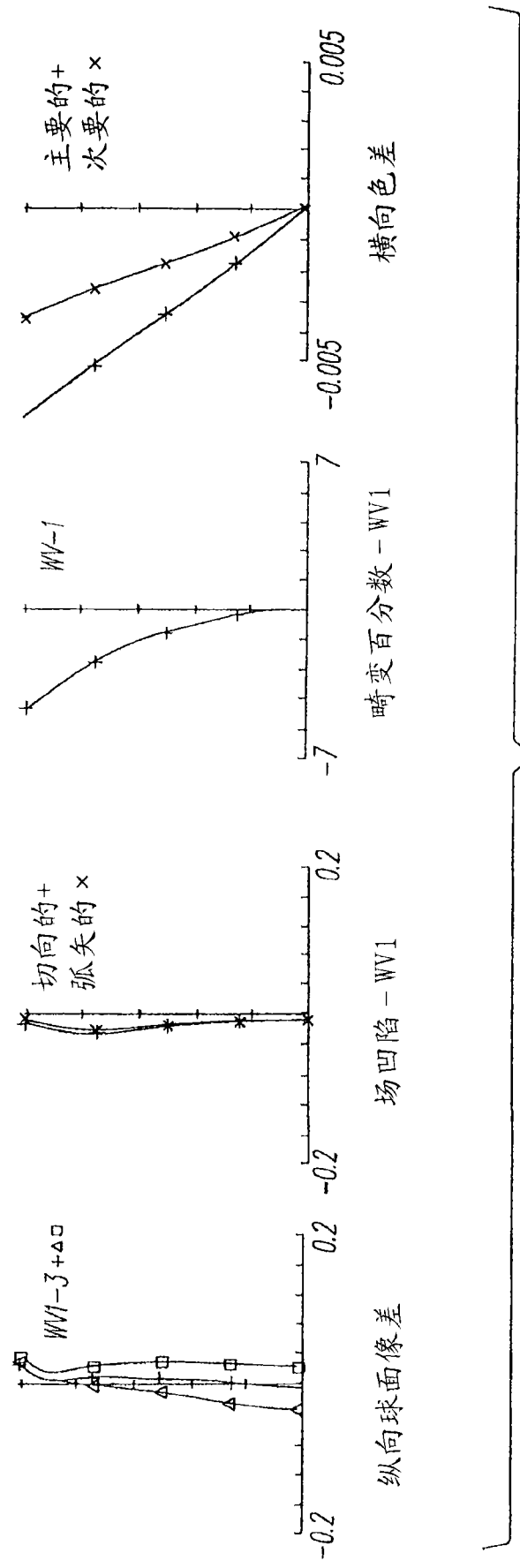


图 2B

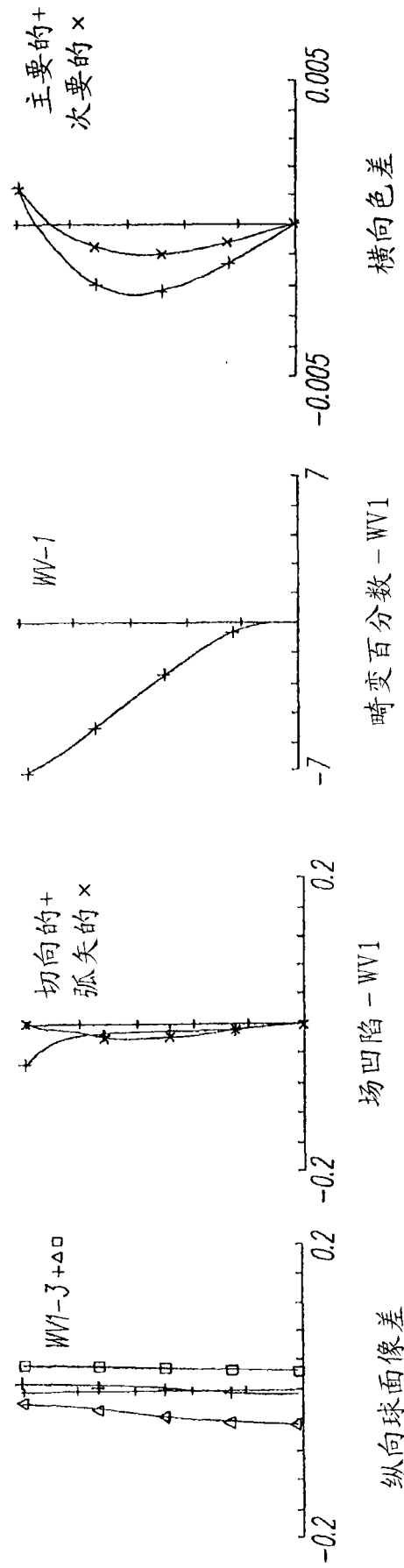


图 20



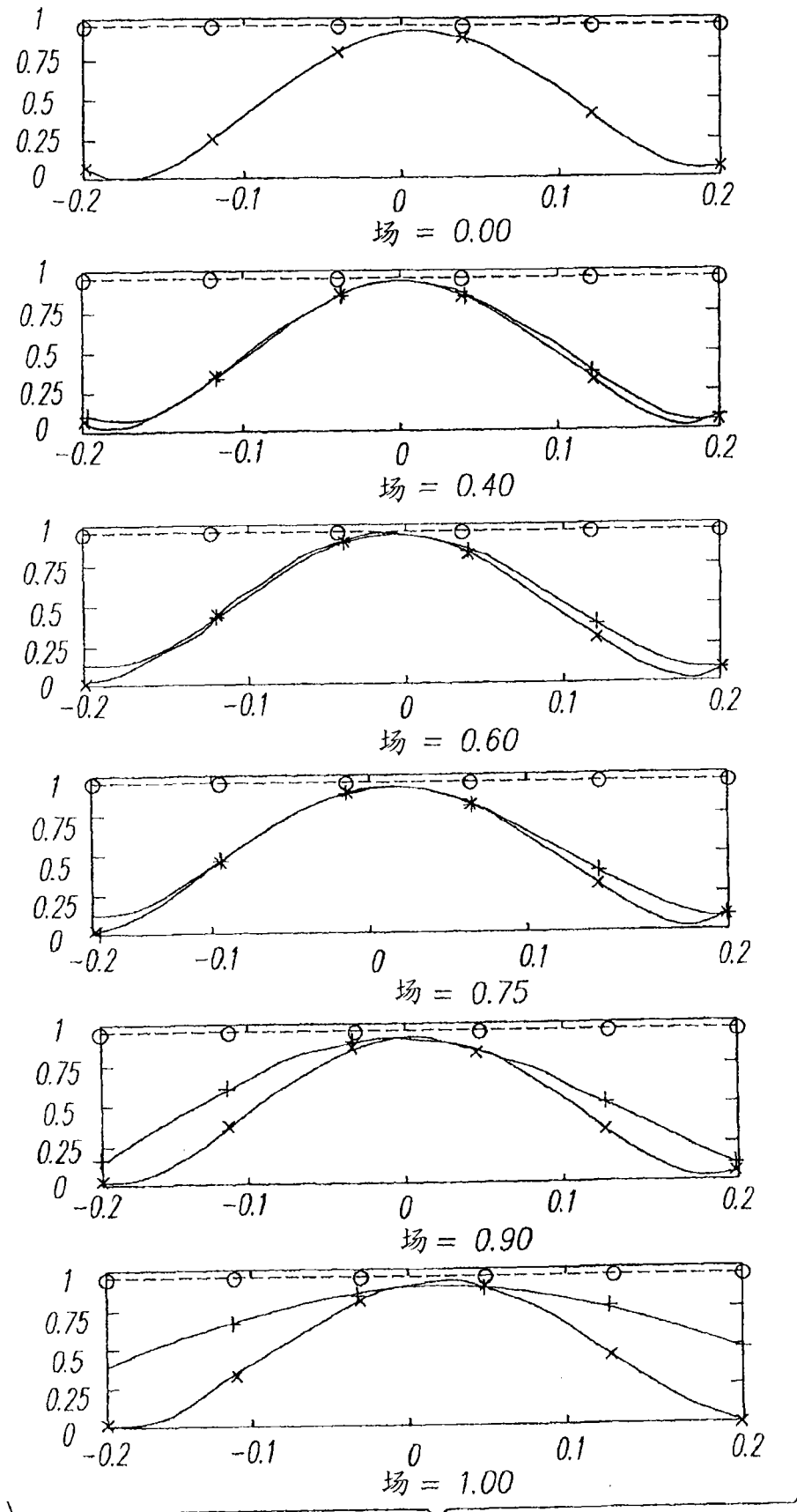


图 3A

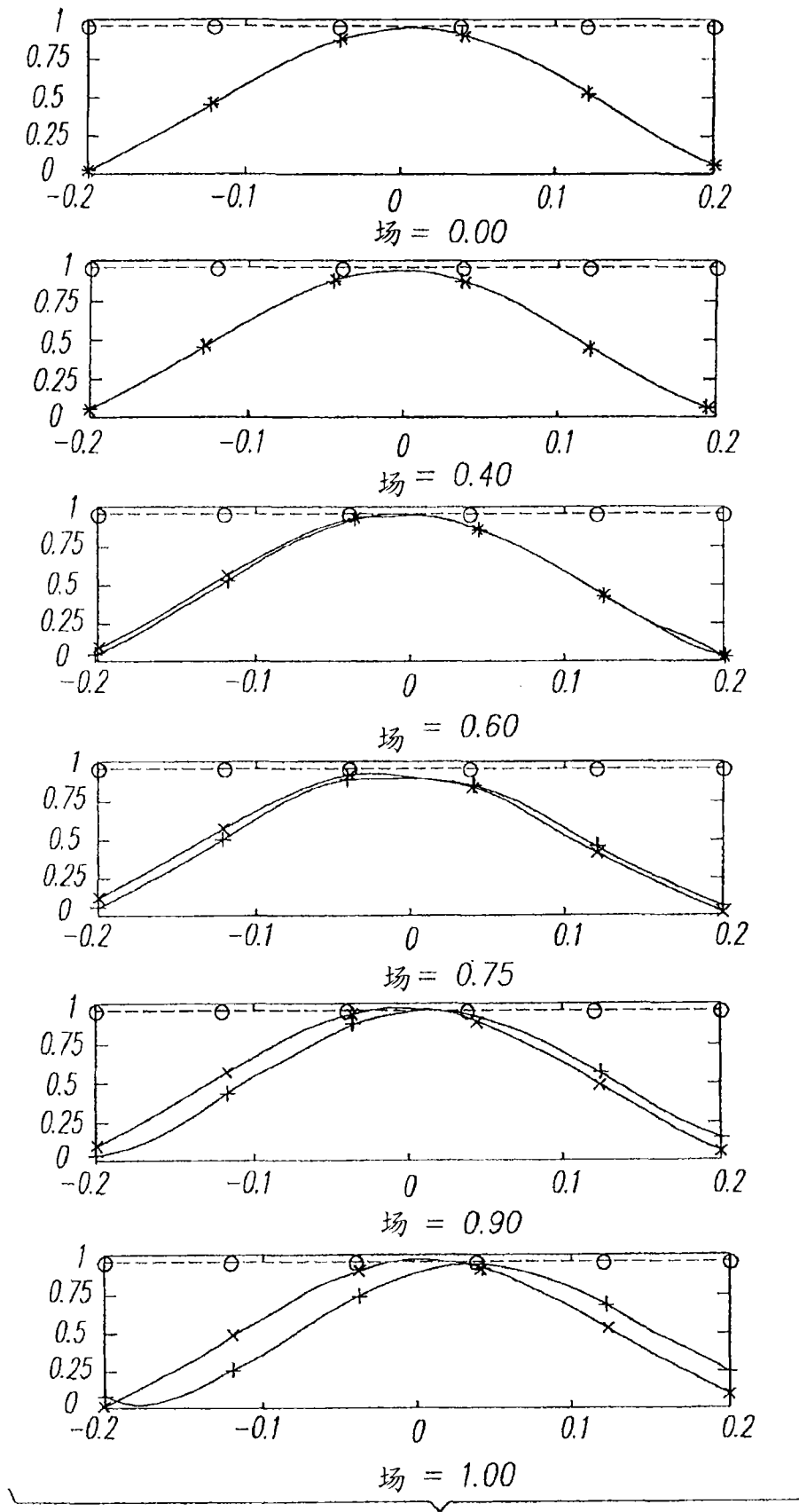


图 3B

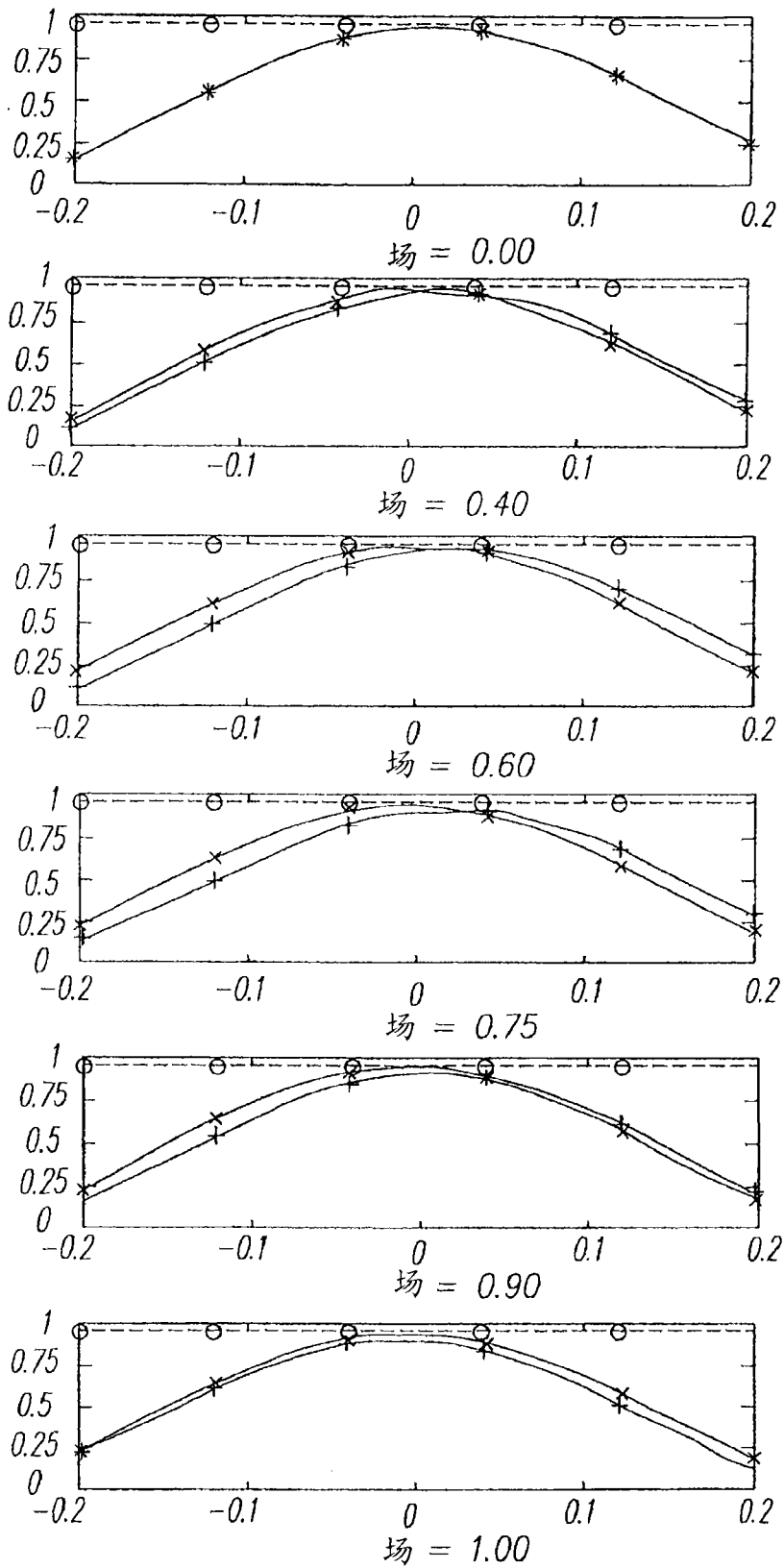


图 3C

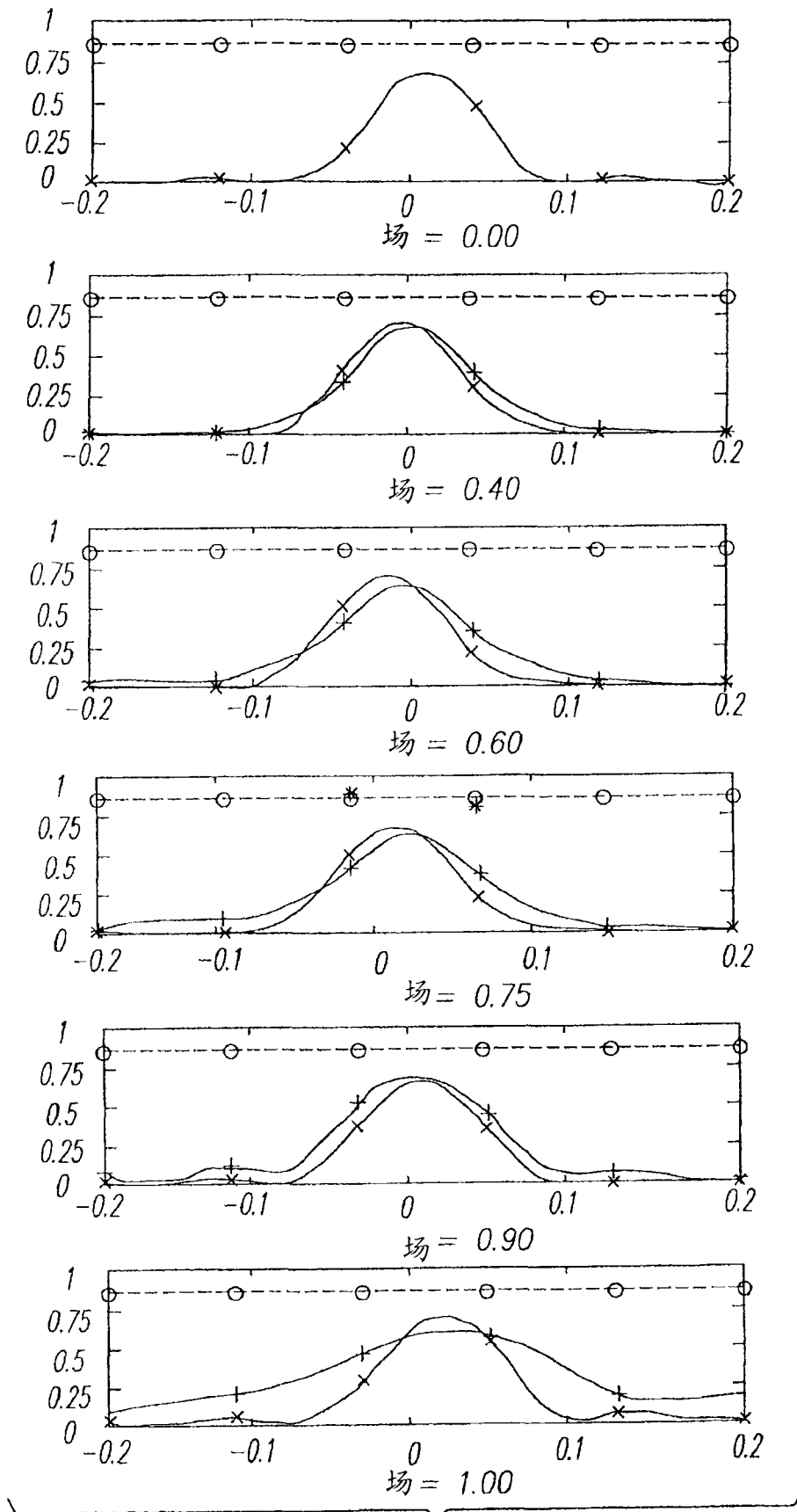


图 4A

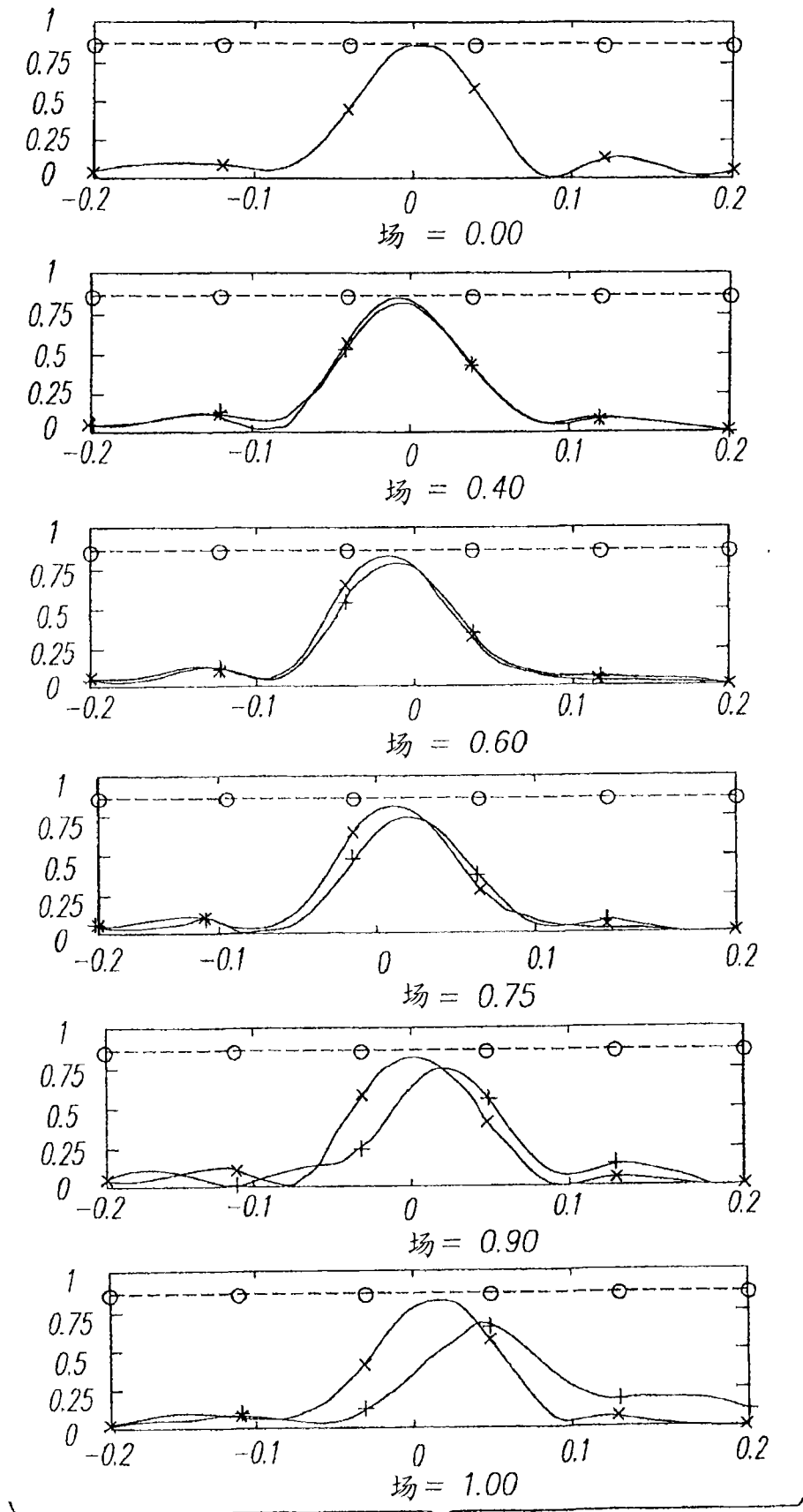


图 4B

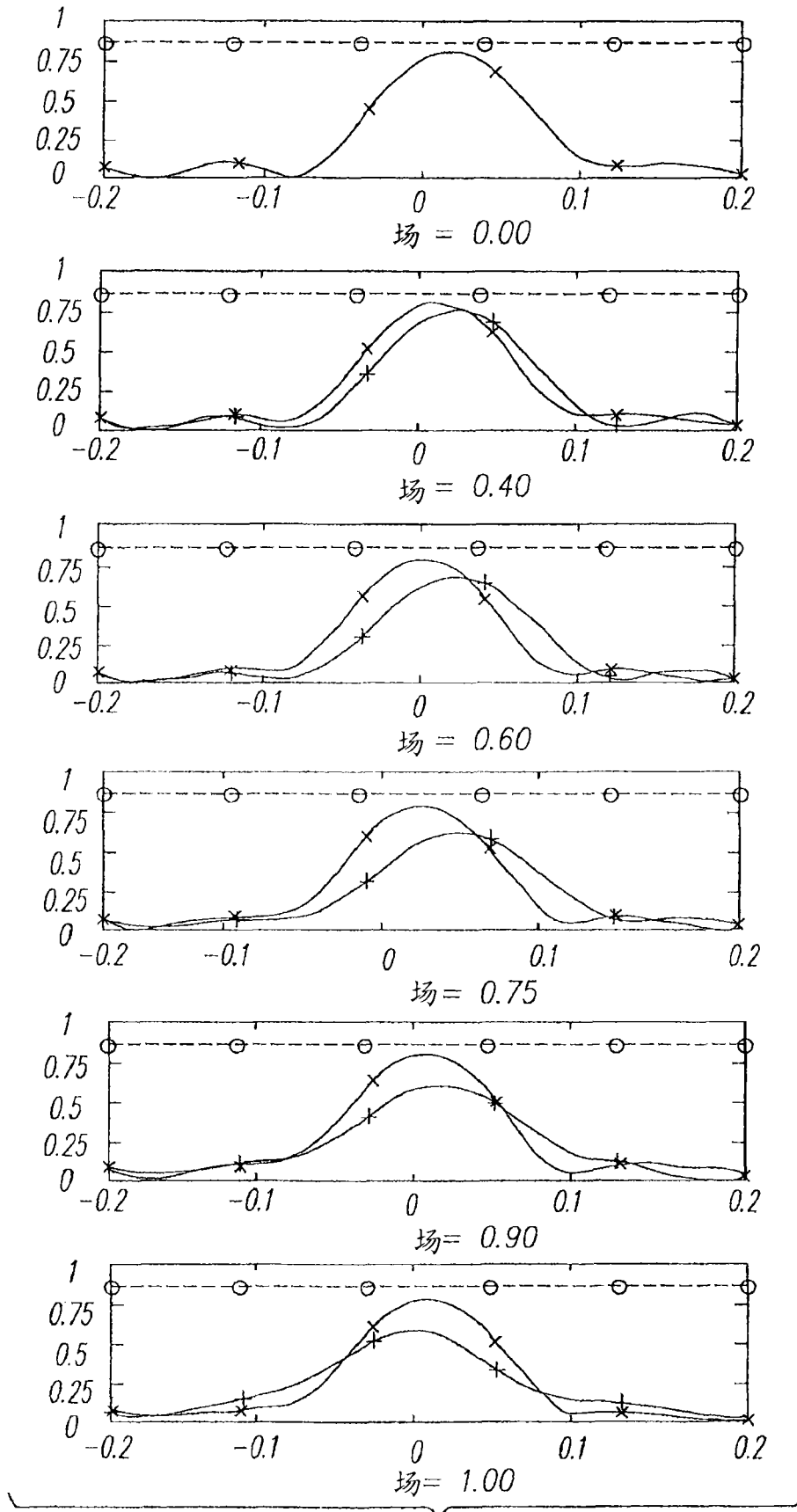


图 4C

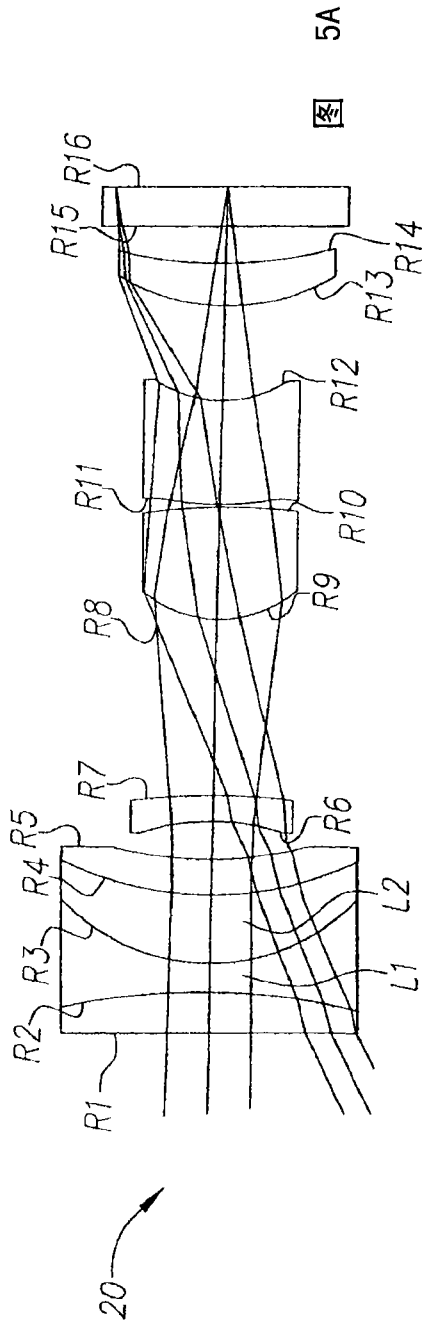


图 5A

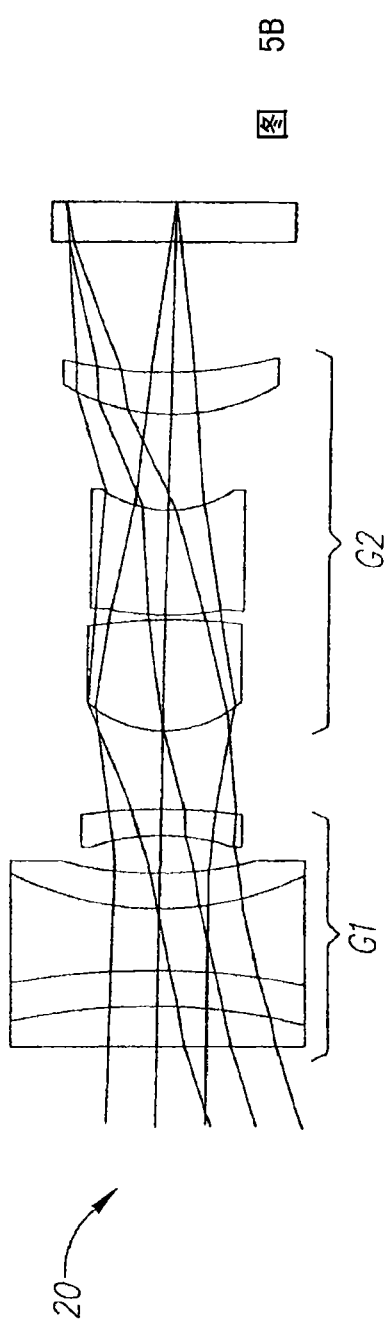


图 5B

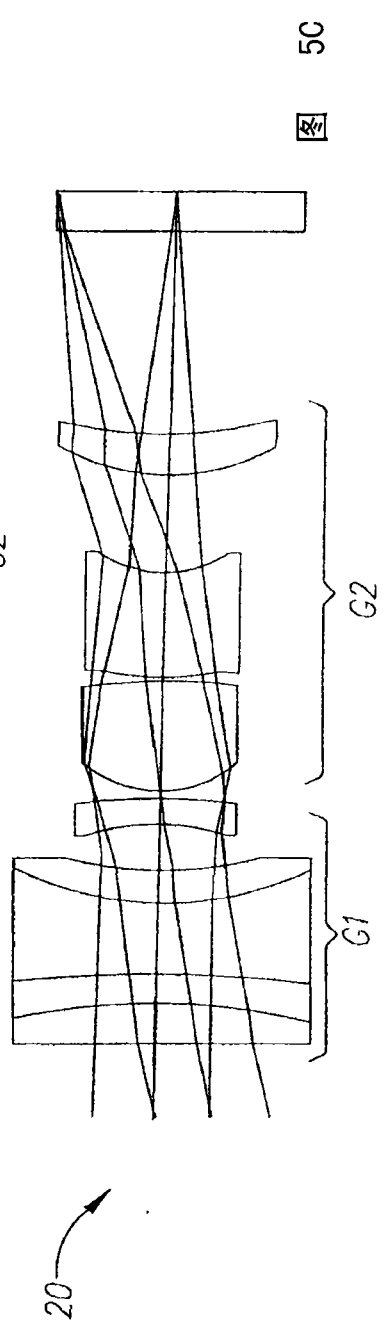


图 5C

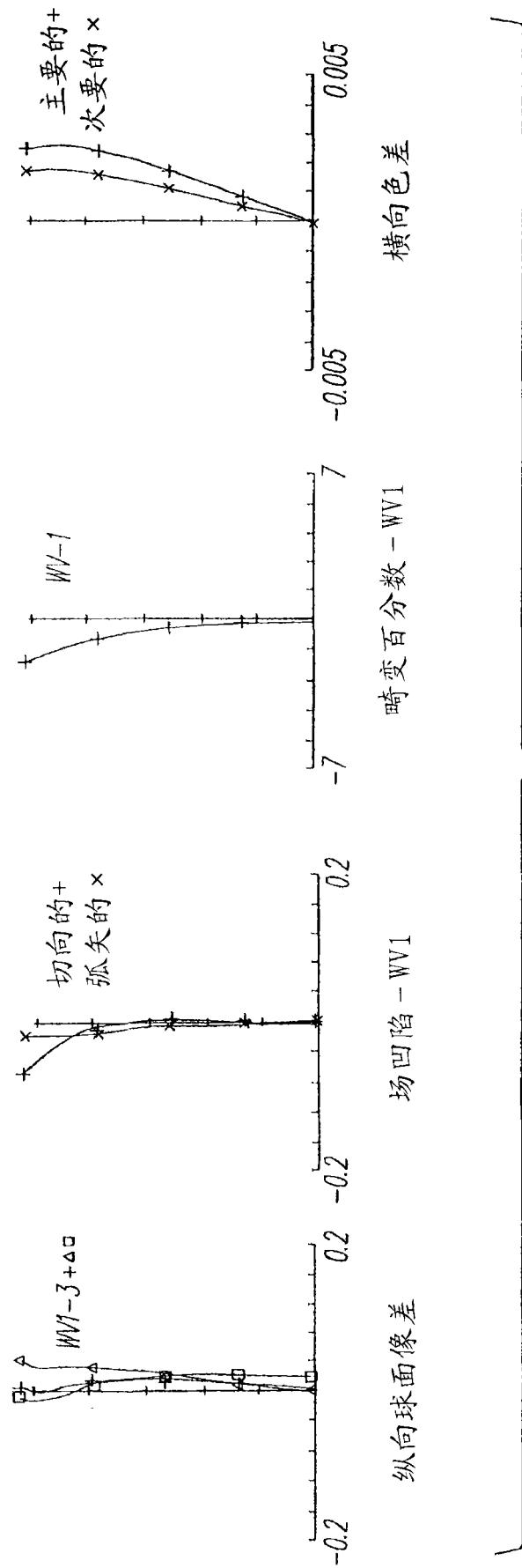


图 6A



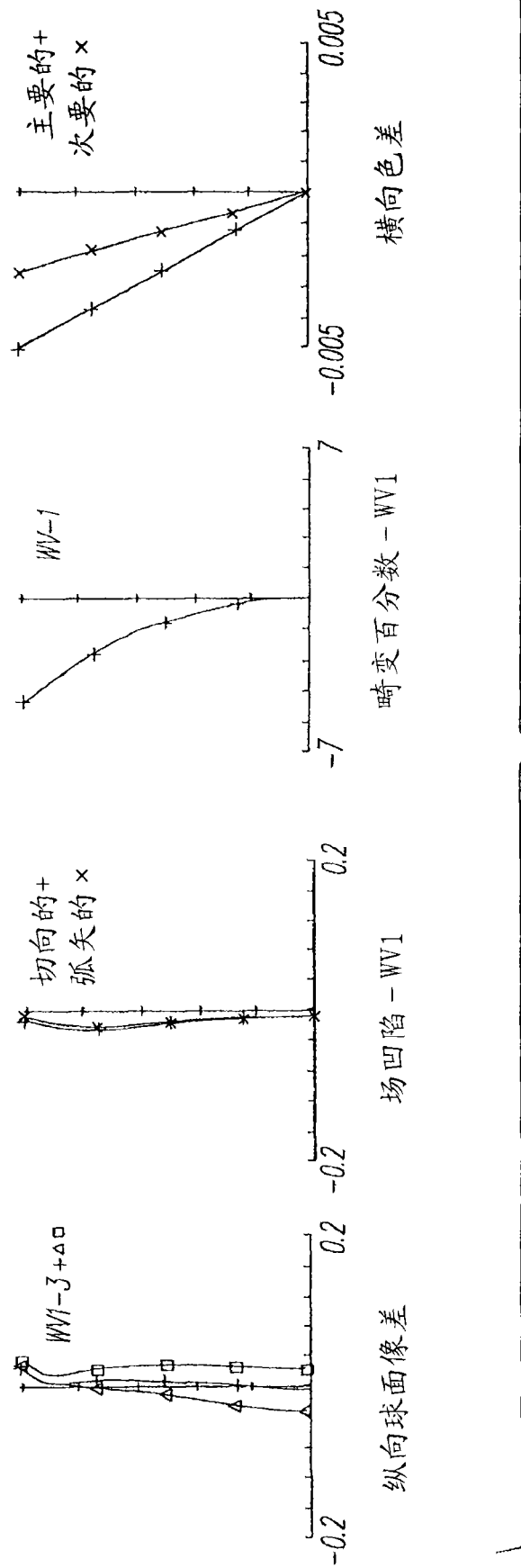


图 6B

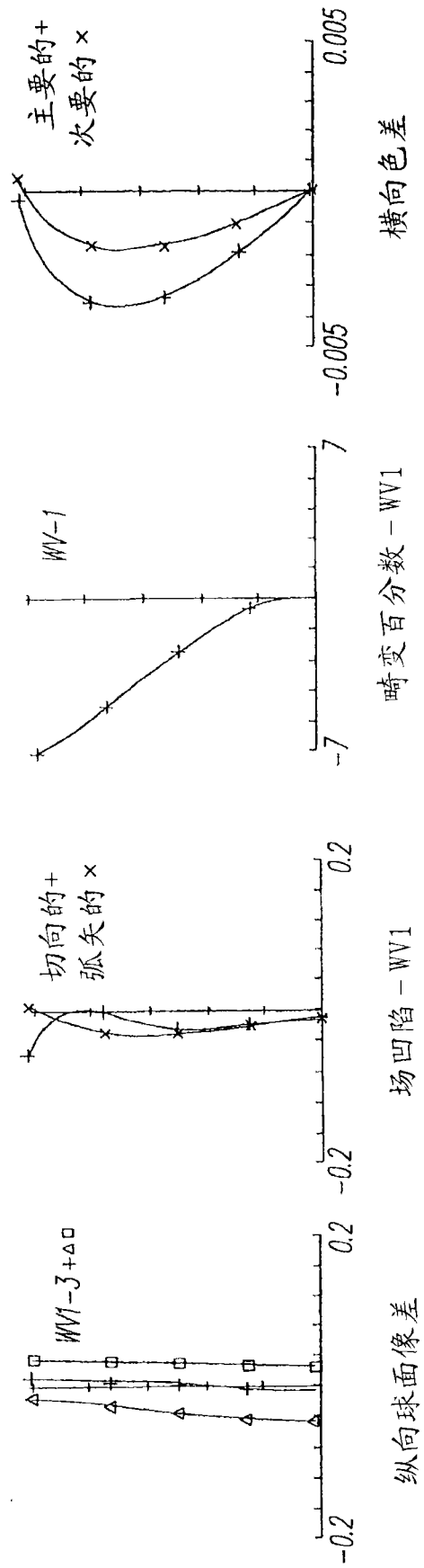


图 6C

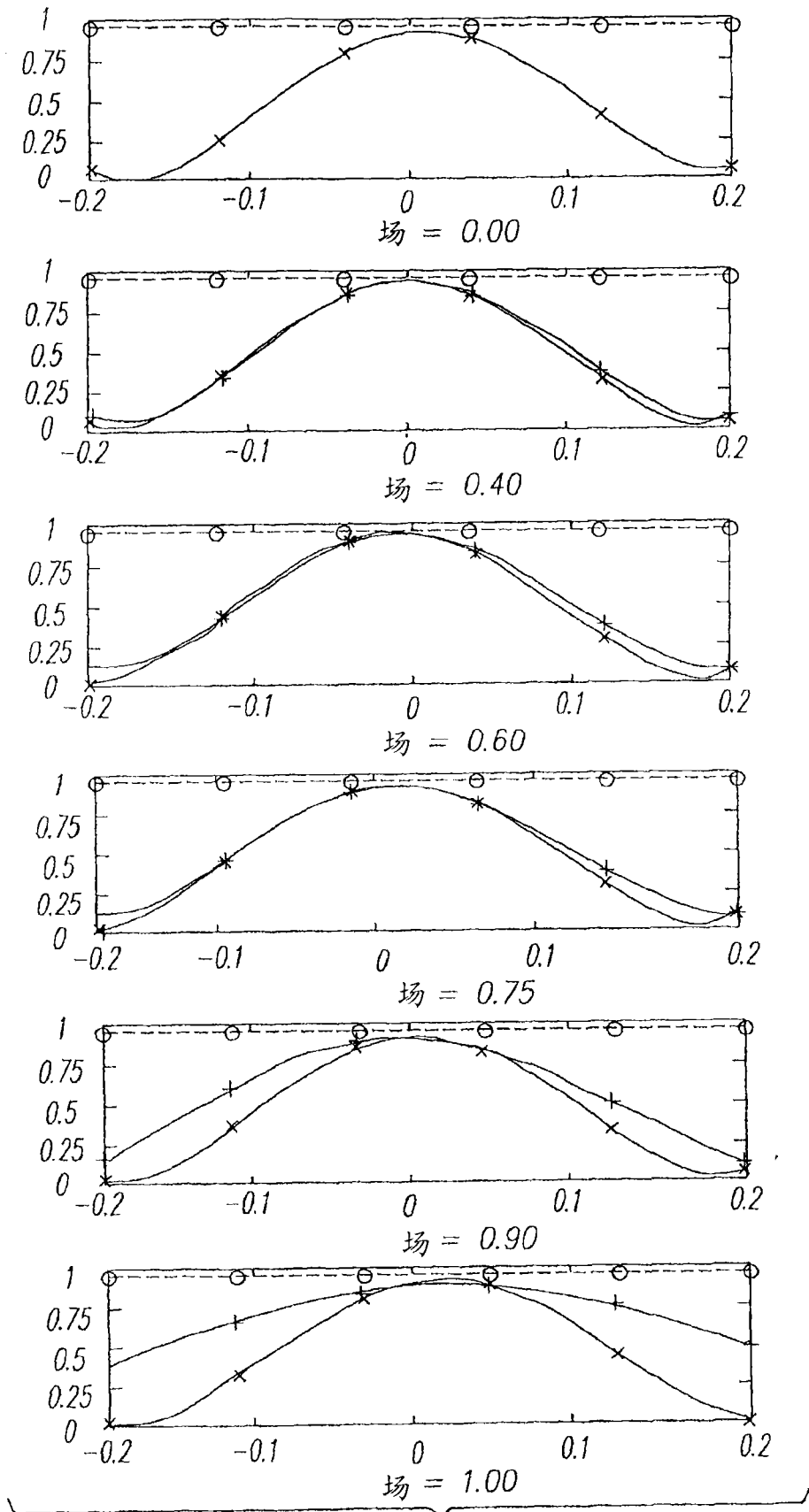


图 7A

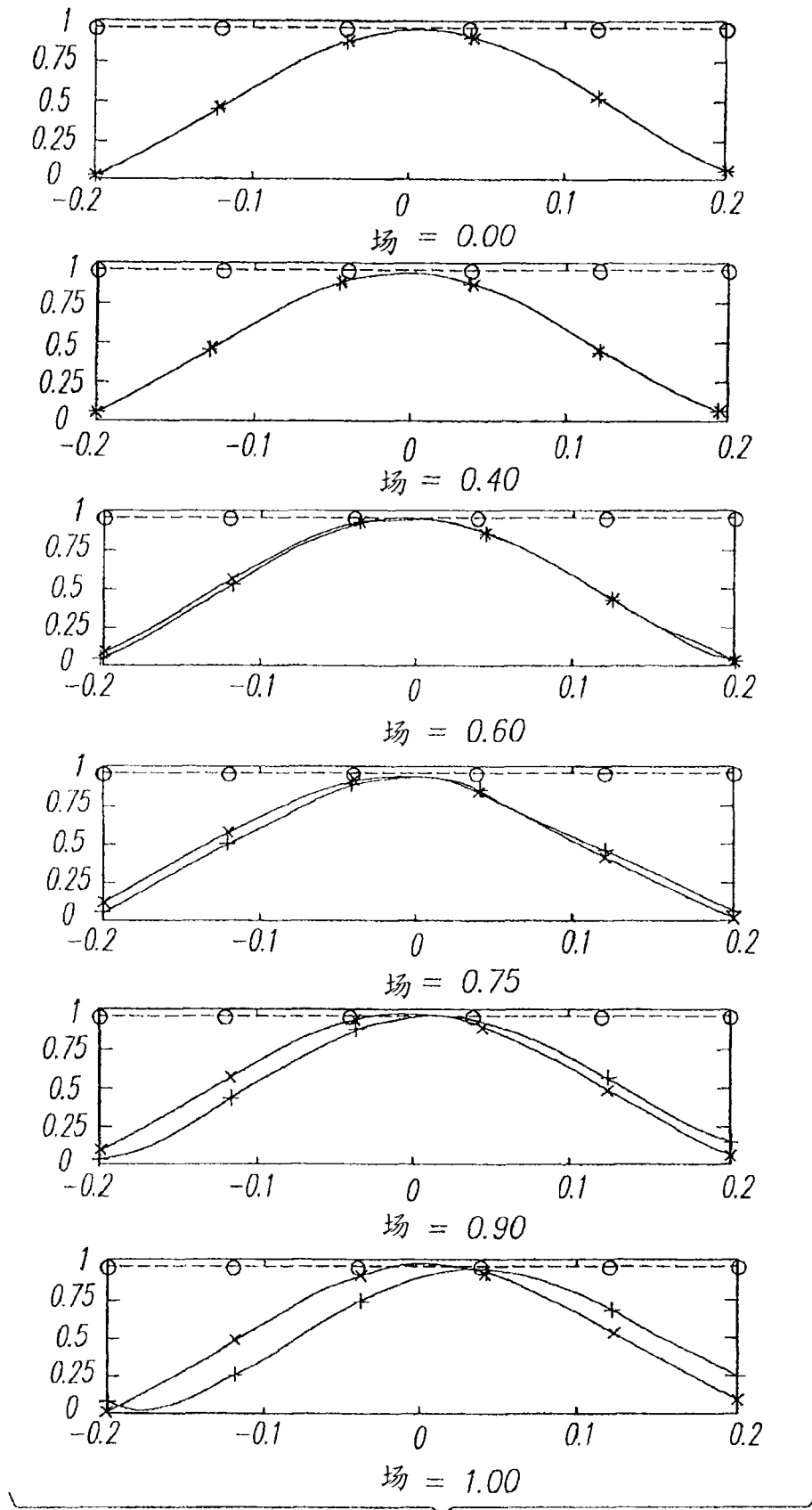


图 7B

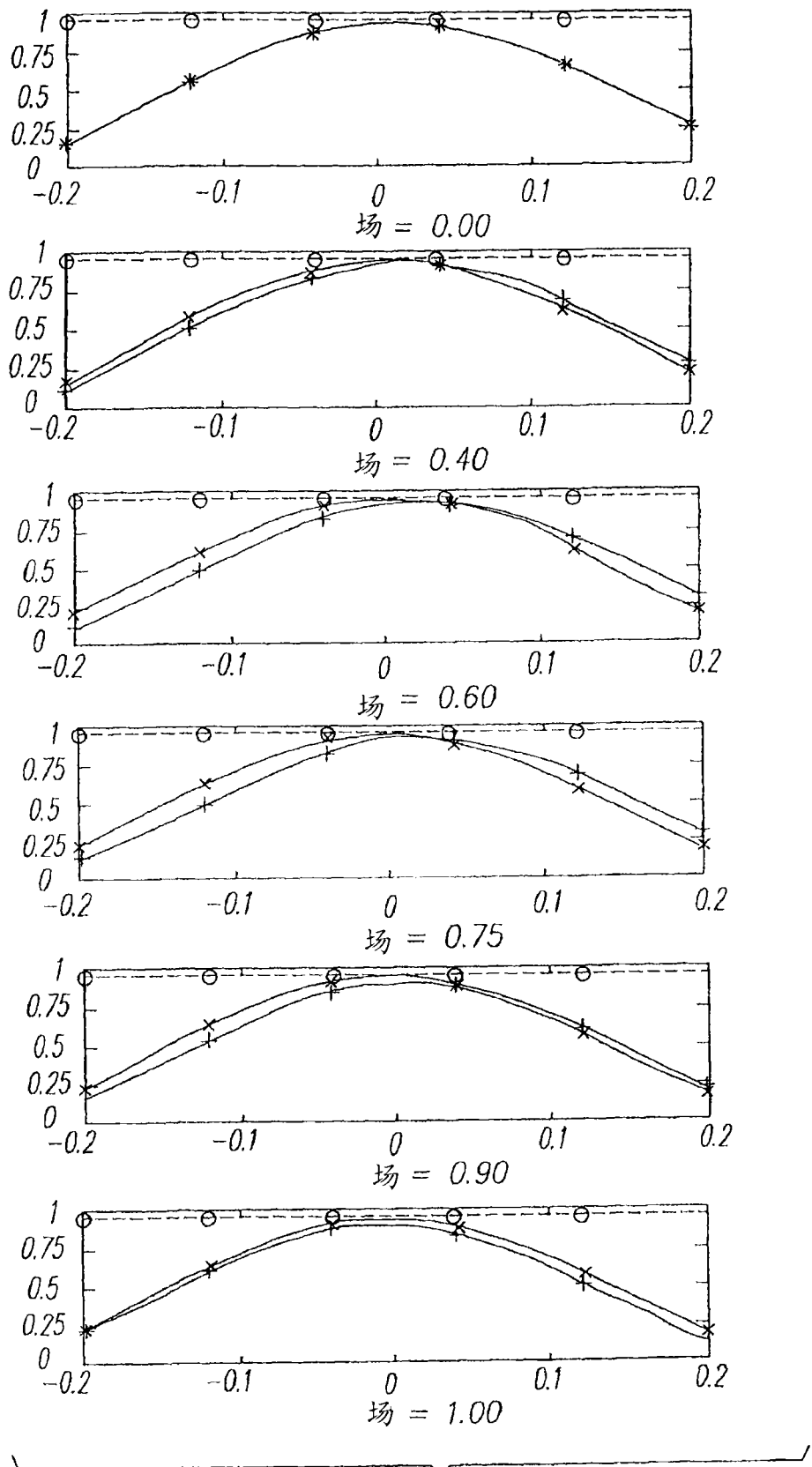


图 7C

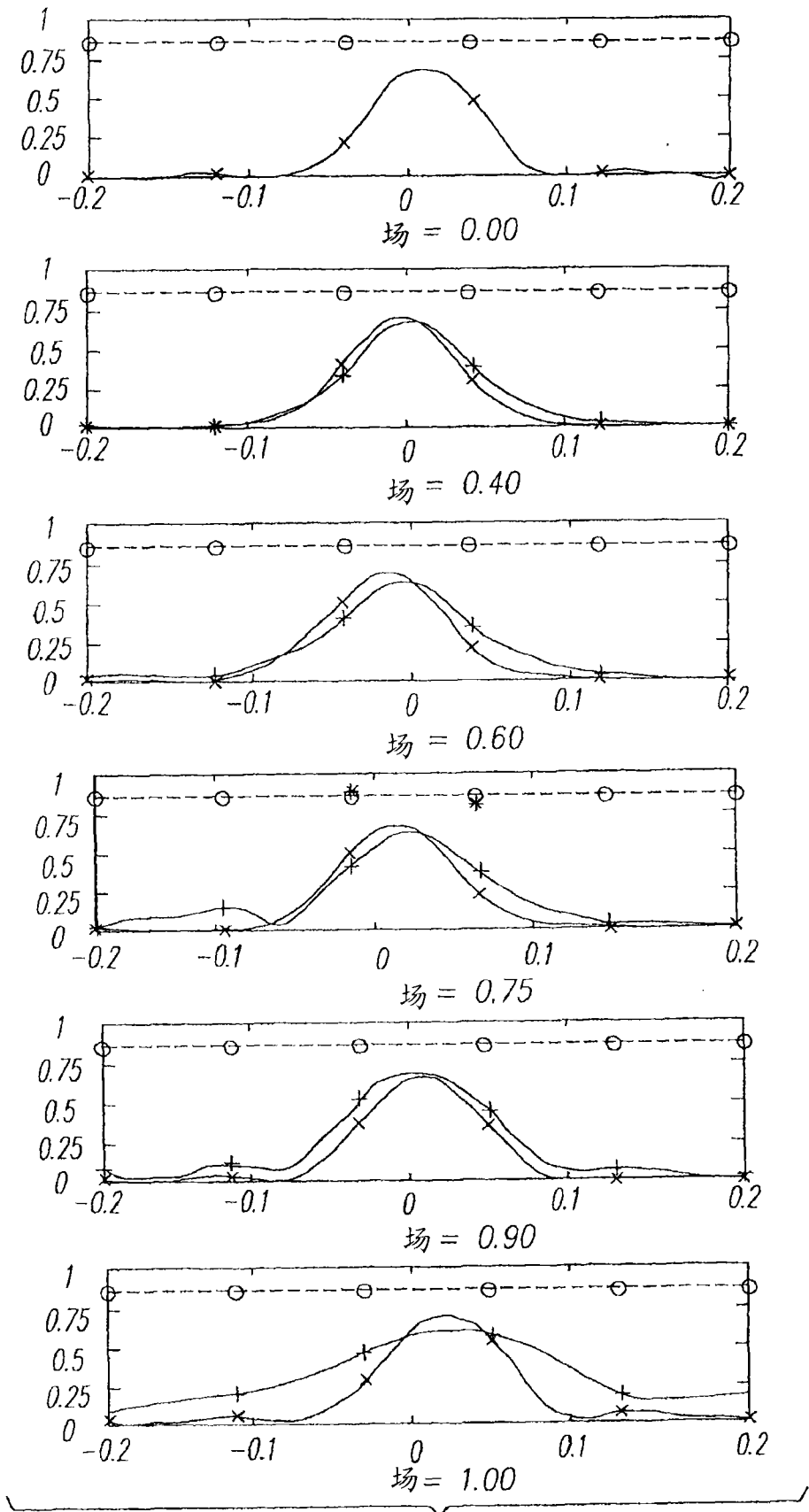


图 8A

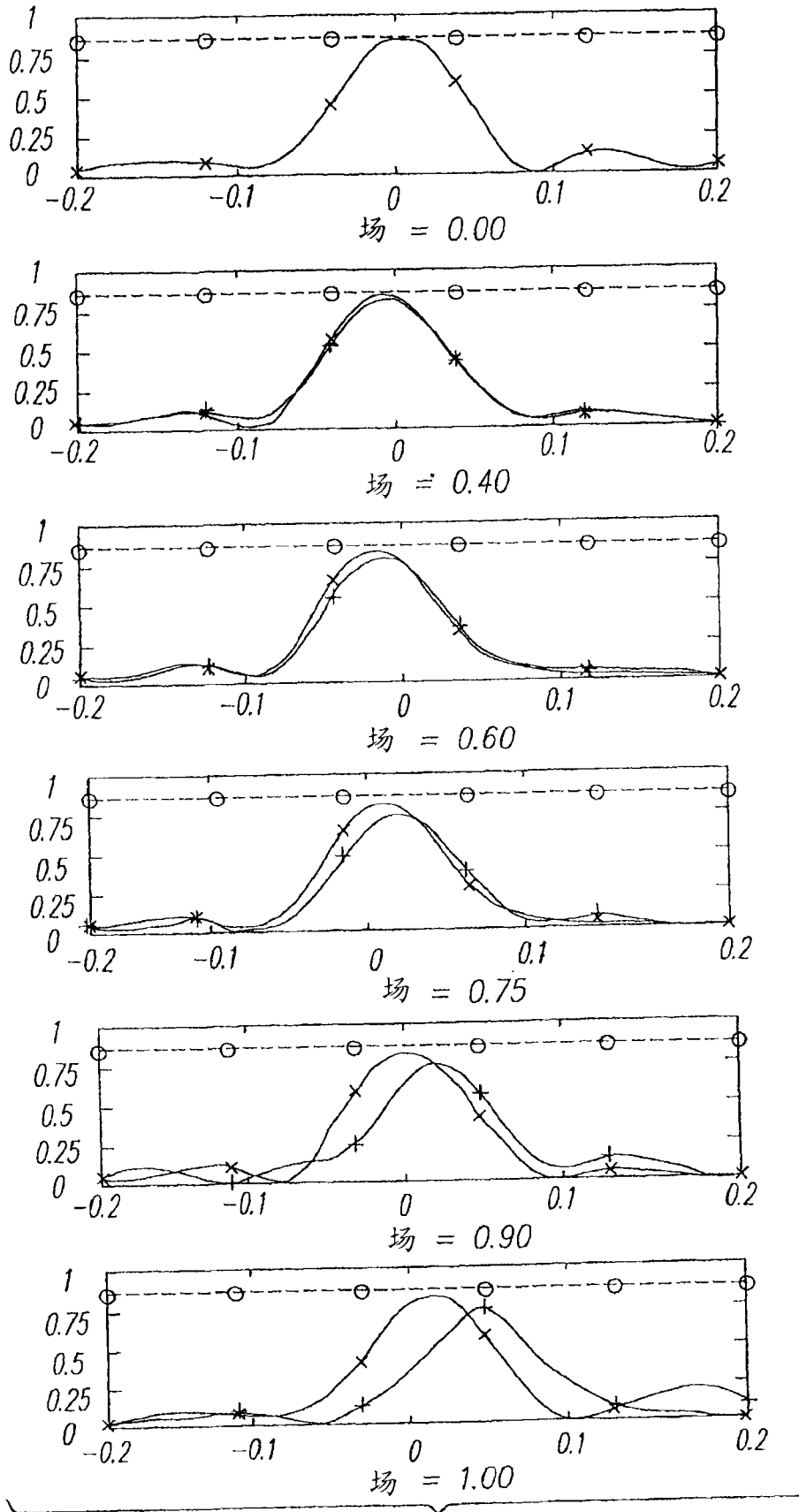


图 8B

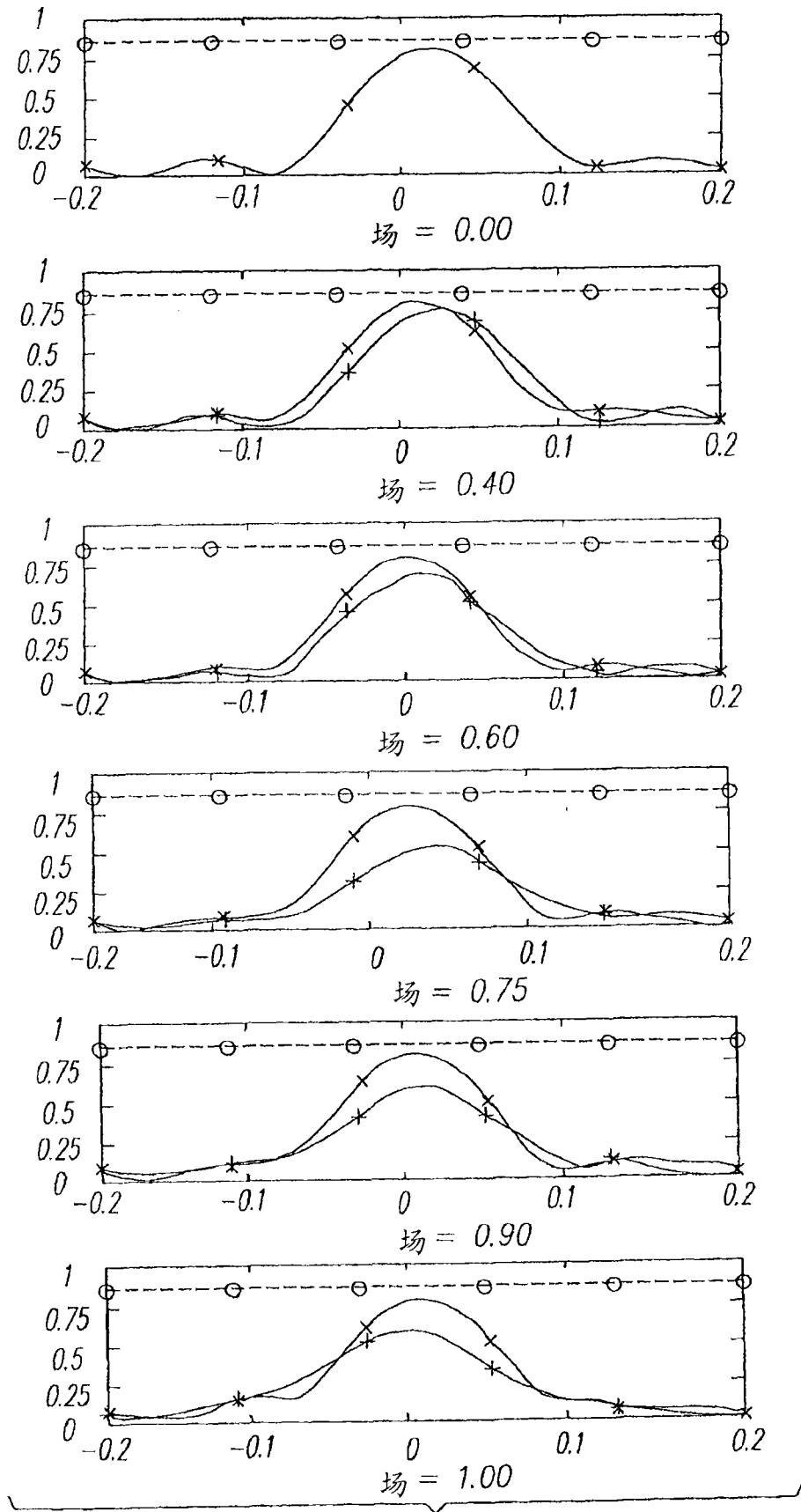


图 8C